

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра: Інформаційно-вимірювальних технологій

Марунок Павло Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 338.432.5

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження засобів контролю стану ізоляції підземних трубопроводів

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 – Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

П.А. Марунок

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Біліщук Б.В., доцент кафедри ІВТ

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

(посада)

(підпис)

(дата)

Середюк О. Є.

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
м. Івано-Франківськ — 2024 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень магістр

Спеціальність 175 – Інформаційно-вимірювальна технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Маруньку Павлу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження засобів контролю стану ізоляції підземних трубопроводів

керівник роботи Біліщук В.Б., доцент кафедри ІВТ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від "03" грудня 2024 року № 787/7

2. Строки подання студентом роботи 15 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: глибина залягання трубопроводу до 2 м від поверхні, контрольована ділянка трубопроводу не менше 300 м

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

1. Аналіз методів і засобів діагностики стану підземних трубопроводів та захисту від корозії 2.

Розробка методики комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу

та розробка установки для її реалізації 3. Метрологічний аналіз та метрологічне забезпечення

установки комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу.

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

1. Теорія роботи приладу – 1 лист А1. 2. Метрологічний аналіз приладу – 1 лист А1. 3.

Структурна схема приладу – 1 лист А4. 4. Принципова схема пристрою – 1 лист А1. 5. Аналіз

методів діагностики стану трубопроводів та захисту від корозії – 1 лист А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз методів і засобів діагностики стану підземних трубопроводів та захисту від корозії	02.12.2024	
2	Розробка методики комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу та розробка установки для її реалізації	05.12.2024	
3	Метрологічний аналіз та метрологічне забезпечення установки комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу	05.12.2024	

Студент _____ Марунек П.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Біліщук В.Б.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Дослідження засобів контролю ізоляції підземних труб. Дана робота складається зі 92 аркушів. До неї входять 10 рисунків, 7 таблиць, 44 джерел.

Об'єкт дослідження – Прилад контролю стану ізоляції

Предмет дослідження – Ізоляція підземних трубопроводів

Метою дослідження є аналіз методів і засобів діагностики стану підземних трубопроводів, а також розробка комплексної методики обстеження корозійного стану з метою забезпечення надійної експлуатації газотранспортної системи та захисту від корозії. Основними завданнями документа є аналіз стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів та оцінка впливу різних факторів на корозійні процеси, таких як властивості ґрунтів, рівень вологості та структура середовища. Документ спрямований на розробку методів діагностики, що дозволяють виявляти пошкодження ізоляційного покриття та оцінювати корозійний стан трубопроводів за допомогою електрометричних вимірювань.

Також важливим завданням є впровадження системного підходу до моніторингу стану трубопроводів, що включає регулярне спостереження, реєстрацію та аналіз даних. У роботі приділяється увага вдосконаленню електрохімічного захисту, зокрема вимірюванню потенціалів та оцінці ефективності катодних установок.

Особлива увага приділена розробці рекомендацій для попередження аварій і забезпечення безпеки експлуатації трубопроводів. Це включає виявлення ділянок із високим ризиком корозійного руйнування, розробку методів їх захисту та забезпечення екологічної безпеки. Завдання також передбачають використання сучасних технологій і приладів для діагностики, що забезпечують точність вимірювань і ефективність виявлення дефектів.

Ключові слова: підземні трубопроводи, корозія, протикорозійний захист, ізоляційне покриття, корозійна агресивність ґрунтів, питомий електроопір ґрунту,

моніторинг корозійного стану, катодний захист, електрохімічний захист, дефекти ізоляції, метод Пірсона.

Студент Марунек П.А.

Summary

Master's qualification work on the topic: Research of means of controlling the insulation of underground pipes. This work consists of 92 pages. It includes 10 figures, 7 tables, 44 sources.

Object of research - Means of controlling the state of insulation

Subject of research - insulation of underground pipelines

The purpose of the study is to analyze the methods and means of diagnosing the condition of underground pipelines, as well as to develop a comprehensive methodology for examining the corrosion state in order to ensure reliable operation of the gas transportation system and protection against corrosion. The main objectives of the document are to analyze the state of corrosion protection of underground pipelines and assess the impact of various factors on corrosion processes, such as soil properties, humidity level and structure of the environment. The document is aimed at developing diagnostic methods that allow detecting damage to the insulation coating and assessing the corrosion condition of pipelines using electrometric measurements.

Another important task is to introduce a systematic approach to pipeline condition monitoring, including regular monitoring, recording and data analysis. The work focuses on improving electrochemical protection, in particular, measuring potentials and evaluating the effectiveness of cathodic installations.

Particular attention is paid to developing recommendations for preventing accidents and ensuring safe operation of pipelines. This includes identifying areas with a high risk of corrosion damage, developing methods to protect them and ensuring environmental safety. The tasks also involve the use of modern technologies and diagnostic devices that ensure measurement accuracy and defect detection efficiency.

Keywords: underground pipelines, corrosion, corrosion protection, insulating coating, corrosive aggressiveness of soils, soil resistivity, corrosion condition monitoring, cathodic protection, electrochemical protection, insulation defects, Pearson's method.

Student Marunek P.A.

ВСТУП

Об'єкт дослідження: Стан ізоляційного покриття підземних трубопроводів і його вплив на корозійну стійкість.

Мета роботи: Розробка та вдосконалення методів контролю ізоляційного покриття трубопроводів з метою підвищення їхньої надійності та довговічності.

Предмет досліджень: Методи та засоби діагностики стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, а також технічні рішення щодо забезпечення їхнього захисту від корозії.

Актуальність обраної теми: Значна частина підземних трубопроводів України перебуває в експлуатації тривалий час, що призводить до деградації ізоляційного покриття та підвищення ризику аварій. Впровадження сучасних методів контролю ізоляції є необхідним для забезпечення безпеки та продовження терміну експлуатації.

Практична цінність: Розроблені методи контролю та рекомендації щодо покращення захисного покриття можуть бути застосовані в промислових умовах для зниження витрат на ремонт та забезпечення довготривалої експлуатації трубопроводів.

Методи та засоби досліджень: Аналіз існуючих методів діагностики ізоляційного покриття, використання електрометричних і акустичних методів для контролю стану ізоляції, експериментальне випробування на спеціалізованих стендах.

Новизна магістерської роботи: Запропоновано вдосконалений комплекс методів контролю стану ізоляційного покриття, який дозволяє з більшою точністю визначати місця пошкоджень та оцінювати їхній вплив на корозійну стійкість трубопроводів.

ЗМІСТ

1	Аналіз методів і засобів діагностики стану підземних трубопроводів та захисту від корозії.....	
1.1	Аналіз методів діагностики стану трубопроводів та захисту від корозії.....	
1.1.1	Методи визначення корозійної агресивності середовища.....	
1.1.2	Методи визначення місцезнаходження газопроводу.....	
1.1.3	Методи визначення стану ізоляційного покриття.....	
1.1.4	Методи визначення корозійного стану газопроводу.....	
1.2	Аналіз засобів діагностики стану трубопроводів та захисту від корозії.....	
1.2.1	Прилади та обладнання для вимірювання різниці потенціалів на підземних газопроводах.....	
1.2.2	Прилади для визначення місць пошкодження ізоляційного покриття.....	
1.2.3	Прилади для вимірювання електроопору.....	
1.2.4	Прилади для вимірювання адгезії.....	
1.2.5	Прилади для пошуку місцезнаходження підземних металевих трубопроводів.....	
1.3	Постановка задачі до дипломного проектування.....	
2	Розробка методики комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу та розробка установки для її реалізації.....	
2.1	Аналіз факторів впливу на стан підземних трубопроводів.....	
2.2	Захист магістральних трубопроводів від підземної корозії.....	
2.3	Розробка методики комплексного обстеження стану газопроводів та установки для її реалізації.....	

2.3.1	Характеристика засобів вимірювальної техніки для комплексного обстеження.....
2.3.2	Методика комплексного обстеження стану трубопроводів.....
2.3.2.1	Види і задачі обстеження.....
2.3.2.2	Методичні рекомендації по обстеженню стану електрохімічного захисту від корозії.....
2.3.2.3	Методичні рекомендації по обстеженню ізоляційного покриття трубопроводів.....
2.3.2.4	Методичні рекомендації по обстеженню корозійного стану трубопроводу.....
2.3.3	Методи і схеми вимірювання.....
2.4	Установка комплексного обстеження.....
2.4.1	Структурна схема установки.....
2.4.2	Розробка блоку вимірювання напруги.....
2.4.2.1	Принцип роботи вимірювача напруги.....
2.4.2.2	Будова вимірювача напруги.....
2.4.2.3	Опис принципової електричної схеми вимірювача напруги.....
2.4.2.4	Розрахунок елементів стабілізатора.....
2.4.2.5	Розробка плати блоку живлення.....
3	Метрологічний аналіз та метрологічне забезпечення установки комплексного обстеження корозійного стану об'єктів транспортування газу...
3.1	Загальний аналіз сумарної похибки установки.....
3.2	Аналіз складових сумарної похибки.....
3.3	Метрологічне забезпечення.....
3.3.1	Засоби повірки.....
3.3.2	Методика проведення повірки.....
	Висновки.....
	Перелік посилань на джерела.....

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ТА ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ

1.1 Аналіз методів діагностики стану трубопроводів та захисту від корозії

Надійність роботи підземних трубопроводів в значній мірі залежить від стану протикорозійного захисту, і частково від стану ізоляційного покриття. Практика експлуатації трубопроводів свідчить, що ідеального покриття не існує. Навіть при ретельному виконанні захисне покриття в процесі експлуатації старіє: втрачає діелектричні властивості, водостійкість тощо. Тому наявність ізоляційного покриття не гарантує необхідного захисту газопроводу від корозії [1].

Небезпека корозійного руйнування газопроводів визначається рядом чинників, серед яких одним із найвагоміших є корозійна активність ґрунтів, яка залежить від багатьох факторів: структури, пористості, вологості, повітропроникливості, значення рН, хімічного складу, електропровідності тощо.

Важливим елементом у забезпеченні надійності і безпечної експлуатації магістральних трубопроводів є моніторинг корозійного стану, який виник внаслідок підземної корозії.

Моніторинг корозійного стану підземних сталевих трубопроводів – це система спостережень і діагностування корозійного стану трубопроводів із метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення й ліквідації наслідків негативних процесів корозії.

Контроль корозійного стану має містити систематизований і оптимізований комплекс методів корозійного і електрометричного обстеження ділянок газопроводів [2].

1.1.1 Методи визначення корозійної агресивності середовища

Питомий електроопір ґрунту є одним із показників корозійної активності середовища. Швидкість корозії тим більша, чим менша величина питомого

електроопору ґрунту.

Вимірюють електроопір за допомогою чотирьохелектродних установок. При пропусканні через електроди живлення А і В струму в середовищі виникає електричне поле. Між приймальними електродами М і N вимірюють різницю потенціалів U , а в колі живлення – струм I . Згідно закону Ома для тримірного провідника розраховують питомий електроопір за формулою:

$$c_r = K_y \cdot \frac{U}{I}, \quad (1.1)$$

де K_y - коефіцієнт установки, який залежить від відстані між електродами і місця їх розташування – на поверхні чи в середині середовища.

Величина ρ_r , що визначена за допомогою чотирьохелектродної установки, знаходиться в складній залежності від неоднорідності ґрунту в межах ділянки і від розмірів установки.

У практиці корозійних обстежень трубопроводів питомий електроопір ґрунту в точці найчастіше визначають установкою Веннера – чотирьохелектродною установкою, де відстань між електродами однакова і дорівнює подвоєній глибині, на якій визначають електроопір [3]. Коефіцієнт такої установки визначають за формулою:

$$K_y = 2 \cdot \pi \cdot a = 6,28 \cdot a. \quad (1.2)$$

При корозійних обстеженнях найчастіше застосовують установку з $a = 2$ м.

Питомий електроопір ґрунтів по трасі визначають послідовним вимірюванням ρ_r , в окремих точках із кроком 100 – 200 м.

За результатами вимірювань складають графік електроопору ґрунтів по трасі газопроводу.

На ділянках трубопроводу в місцях чергування ґрунтів, що різко відрізняються повітрепроникливістю та водопоглинанням; у місцях підйому рівня ґрунтових вод до глибини не менше 2 м від поверхні; на ділянках різкої зміни питомого електроопору ґрунтів (не менш як у три рази) при $\rho_r < 100$ Ом·м визначають можливість виникнення корозійних макропар за методом

Нефьодової – Єфимова [2].

Роботи виконують у такій послідовності. Поблизу межі чергування ґрунтів у різні ґрунти закладають зонди – електроди з трубної сталі на глибину розміщення трубопроводу (0,5 – 1 м), а у випадку високого підйому ґрунтових вод і можливості виникнення на трубі макропар "низ – верх" один зонд – електрод розміщують на глибину низу труби, другий – на глибину верху труби. Зонди – електроди мають площу відкритої поверхні 4, 6, 10, 100 см².

Через добу, після стабілізації потенціалів зондів – електродів у часі, вимірюють їх потенціал відносно мідно – сульфатного електрода порівняння. Ділянка, в якій потенціал зонда – електрода негативніший, є зоною анодного руйнування металу.

Якщо величина різниці потенціалів двох зондів становить не менше 50 мВ, а питомий електроопір однієї з ділянок – не більше 10 Ом·м, необхідно кількісно оцінити можливу величину корозійних втрат за рахунок виникнення корозійної макропари на цій ділянці трубопроводу. Для цього в анодній зоні розміщують зонд – електрод із поверхнею 4 – 6 см², а в катодну зону – 100 см². Після стабілізації їх потенціалів протягом доби електроди електрично з'єднують через резистор опором 50 Ом і по падінню напруги на резисторі визначають струм макропари. Вимірювання виконують кожні дві години протягом перших 12 годин, потім – раз на добу протягом 10 діб.

Визначають анодну густину поляризуючого струму:

$$J = \frac{I}{S_a}, \quad (1.3)$$

де I – вимірний поляризаційний струм корозійної макропари, мА;

S_a - площа зонда – електрода, розташованого в анодній зоні, см².

Отримані дані наносять на план траси трубопроводу.

1.1.2 Методи визначення місцезнаходження газопроводу

Часто при рекогносцируванні корозійних чинників середовища,

необхідності їх топографічного взаємозв'язування та прив'язки їх розташування до трубопроводу виникає потреба відшукати трасу трубопроводу і визначити проекцію його осі [4].

До однієї клеми генератора трасошукача приєднують провід контрольного пункту трубопроводу, до другої клеми – електрод – заземлення, розташований на відстані 10 – 30 м від трубопроводу, і вмикають генератор. Настроюють генератор на режим роботи згідно інструкції експлуатації. Змінний струм звукової частоти, що виробляє генератор, створює перпендикулярно осі трубопроводу електромагнітне поле. Напруженість цього поля залежить від величини струму, що протікає по трубопроводу.

Приймальну установку трасошукача, яка складається з перетворювача і приймача, відносять вздовж траси трубопроводу на відстань 10 – 20 м від точки приєднання генератора до труби. Для приймання електромагнітного поля використовують індуктивні перетворювачі, які реагують на магнітну складову поля, що випромінює трубопровід. Вмикають приймальну установку та орієнтують індуктивний перетворювач таким чином, щоб він був паралельний поверхні землі. Переміщуючи перетворювач у такому стані поперек гаданої траси трубопроводу, відшукують місце з максимальним значенням сигналу (по індикатору приймача). Максимальне значення сигналу буде спостерігатися над трубою.

Визначення проекції осі трубопроводу: над трубою в зоні максимального сигналу генератора трасошукача орієнтують вісь перетворювача приймача трасошукача перпендикулярно поверхні землі. Пересуваючи перетворювач поперек осі трубопроводу, відшукують точку на поверхні землі з нульовим або мінімальним значенням сигналу по індикатору приймача. Сигнал перетворювача буде мінімальним або дорівнюватиме нулю, якщо перетворювач розміщується саме над віссю трубопроводу. Точку з нульовим значенням на поверхні землі при необхідності закріплюють кілком або закопушкою.

Глибину залягання трубопроводу визначають так. Після визначення проекції осі трубопроводу на поверхні землі перетворювач приймача

розташовують під кутом 45 градусів відносно поверхні і переміщують його перпендикулярно трубопроводу доти, доки на індикаторі приймача не буде зареєстрований чіткий мінімум сигналу. Відстань між проекцією осі трубопроводу і точкою з мінімумом сигналу (відстань між двома мінімумами) буде дорівнювати глибині залягання осі труби (див. рис. 1.1).

Глибину залягання трубопроводу від поверхні землі (при наявності валу над трубопроводом) визначають за формулою:

$$H_{нов.} = H_e - h_e - 0,5 \cdot D_m, \quad (1.4)$$

де H_e - глибина від поверхні валу до осі трубопроводу, м;

h_e - висота валу, м;

D_m - діаметр трубопроводу, м.

1.1.3 Методи визначення стану ізоляційного покриття

Стан ізоляційного покриття можна оцінити величиною струму, необхідного для забезпечення захищеності ділянки трубопроводу (або величиною густини струму), наявністю дефектів у покритті та величиною перехідного електроопору трубопроводу [5].

Для визначення захисної густини струму на ділянці дії катодної установки використовують значення робочого струму установки величини зони дії цієї установки і дані вимірювання потенціалів труби:

$$J_{KY} = \frac{I_{KY} \cdot (U_{3min} - U_e)}{\pi \cdot D \cdot L_{KY} \cdot (U_{\phi min} - U_e)}, \quad (1.5)$$

де I_{KY} - робочий струм катодної установки, А;

D - діаметр трубопроводу, м;

L_{KY} - довжина зони дії катодної установки, км;

$U_{\phi min}$ - мінімальне значення потенціалу труби, виміряне на ділянці дії катодної установки, В;

U_{3min} - значення мінімального захисного потенціалу труби (згідно вимог діючих нормативів), В;

U_e - природний потенціал труби без поляризації зовнішніми джерелами (при відсутності даних приймають згідно вимог діючих нормативів, В).

При роботі за методом Пірсона використовують шукачі пошкоджень різних модифікацій. При цьому застосовують генератор змінного струму звукової частоти, що дає змогу вимірювати напруженість поля біля пошкодженого покриття з використанням простих металевих електродів.

Змінний струм при проходженні через ізолюваний трубопровід повертається в систему через електричну ємність трубопровід – ґрунт і через пошкодження ізоляційного покриття, де труба має контакт із ґрунтом (гальванічний зв'язок). Співвідношення цих величин змінного струму звукової частоти повністю залежить від електричного опору ізоляційного покриття і опору ґрунту в місці пошкодження цього покриття (див. рис. 1.2).

Якщо покриття має відносно високий опір, то електричний сигнал у місці пошкодження ізоляції може бути виявлений і місце пошкодження точно визначене [6].

Роботу виконують у такій послідовності. У пункті вимірювання або в шурфі приєднують генератор змінного струму звукової частоти до трубопроводу і до заземлення, розташованого на відстані не менш як 20 м від трубопроводу, налаштовують його на оптимальний режим роботи згідно інструкції експлуатації.

Збирають двохелектродну прийомну установку (довжиною до 10м) із приймачем.

Розміщують один електрод над трубопроводом, другий відносять перпендикулярно на довжину установки (2 – 10 м) і вимірюють величину сигналу. Дані записують у журнал.

Переносять прийомну установку на наступну точку вимірювань.

Відстань між точками вимірювання (крок вимірювань) не, повинна перевищувати 5 – 10 метрів. Точність визначення місця дефекту залежить від якості покриття і кроку вимірювань: чим якісніше покриття і менше крок, тим

точніше визначають місце пошкодження ізоляційного покриття.

Місце пошкодження покриття орієнтовно визначають за максимальним відхиленням стрілки індикатора приймача – підсилювача.

Якщо з віддаленням від точки, де приєднаний генератор, відчутне затухання вимірюваного сигналу, то генератор переносять у наступне місце на відстань, яка б дала змогу провести вимірювання сигналів на ділянці, де при стоянці генератора на попередній точці сигнал був недостатнім. При цьому треба повторити вимірювання в кількох точках, де вимірювані сигнали були надійними при розміщенні генератора на попередній стоянці.

На підставі вимірювань по трасі викреслюють графік сигналів струму звукової частоти.

При працюючих катодних установках вимірювати поле біля пошкодження покриття можна за допомогою методу поперечного градієнта.

При вимірюванні використовують двохелектродну установку довжиною 5 – 20 метрів.

Роботу виконують у такій послідовності. Один мідно – сульфатний електрод порівняння M , приєднаний до плюсової клеми приладу, встановлюють над віссю труби, а другий електрод N , приєднаний до мінусової клеми, встановлюють збоку перпендикулярно трубопроводу. При наявності суміжних комунікацій відстань між електродами N і цими комунікаціями повинна бути не менше двох відстаней між електродами M і N .

Вимірювання виконують з кроком 5 – 20 метрів.

Центр пошкодження покриття визначають за максимальним значенням градієнта потенціалу.

Аномалії градієнта потенціалу при необхідності деталізують із меншим кроком вимірювань.

Якщо при вимірюванні не використовувалась апаратура з автоматизованим накопиченням результатів вимірювання, дані записують у журнал і на їх підставі складають графік градієнтів потенціалу, визначених поперечною двохелектродною установкою.

Місця пошкоджень ізоляції можна також виділити за графіком потенціалів трубопроводу, визначених між контрольними пунктами з кроком 5 – 10 м методом винесення електродів.

1.1.4 Методи визначення корозійного стану газопроводу

Метод визначення поля корозійних струмів є одним із найінформативніших узагальнюючих, але лише при відсутності струмів сторонніх джерел (відсутність електрохімзахисту, блукаючих струмів постійної напруги тощо) [8].

Цей метод базується на вимірюванні поперечною установкою градієнтів поля струмів корозії, що дає змогу визначити катодні зони корозійних гальванічних макропар, а по амплітуді вимірних значень оцінити інтенсивність корозії.

Роботу виконують у такій послідовності. Один електрод M , приєднаний до плюсової клеми приладу, розміщують над визначеною віссю трубопроводу, а два інші електроди порівняння $N_{ПР}$ і $N_{ЛВ}$ розміщують відповідно праворуч і ліворуч від трубопроводу перпендикулярно йому на відстані 2 – 5 м (відстань до електродів $N_{ПР}$ і $N_{ЛВ}$ підбирають залежно від глибини залягання труби та її діаметра, а також від відстані до паралельних комунікацій). Попередньо всі три електроди встановлюють в одну лунку і перевіряють на власну поляризацію – прилад на найчутливішій межі вимірювань повинен дати величину різниці потенціалу між електродами не більше 1 – 2 мВ.

Приєднують електрод $N_{ЛВ}$, установлений ліворуч, до мінусової клеми приладу і вимірюють потенціал електрода M , встановленого над трубою, відносно електрода $N_{ЛВ}$. Потім до мінусової клеми приладу приєднують електрод порівняння $N_{ПР}$, установлений праворуч, і знову вимірюють потенціал електрода M , але відносно електрода $N_{ПР}$.

При записуванні вимірних значень обов'язково вказують, відносно якого електрода виконувалося вимірювання і знак вимірної величини ("+" або "-"). Після вимірювання всі електроди переміщують на крок вимірювання в наступну точку. Крок вимірювань не повинен перевищувати 3 – 5 метрів.

На підставі вимірювань накреслюють графіки градієнтів потенціалів поля корозійних гальванічних макропар U_{PP} і $U_{ЛВ}$.

1.2 Аналіз засобів діагностики стану трубопроводів та захисту від корозії

Діагностика стану трубопроводів дозволяє виявити дефекти на ранніх стадіях розвитку, що значно знижує ризик аварійних ситуацій. Сучасні методи діагностики можна розділити на такі групи:

- Візуальний контроль: Найпростіший і найдоступніший метод, що дозволяє виявити зовнішні пошкодження ізоляції, сліди корозії та механічні пошкодження. Однак він має обмежені можливості, оскільки не дозволяє виявити внутрішні дефекти.
- Неразрушуючі методи контролю (НМК): До цієї групи належать ультразвуковий контроль, радіографічний контроль, магнітний метод, вихрострумний метод тощо. Вони дозволяють виявити як поверхневі, так і внутрішні дефекти, оцінити товщину стінки труби та виявити підкорозійні порожнини.
- Електрохімічні методи: Засновані на вимірюванні електричних параметрів системи "метал-електроліт". Дозволяють оцінити корозійний стан трубопроводу, ефективність катодного захисту та виявити зони з підвищеною корозійною активністю.
- Інші методи: Акустична емісія, інфрачервона термографія та інші методи дозволяють отримати додаткову інформацію про стан трубопроводу.

Захист трубопроводів від корозії

Для захисту трубопроводів від корозії застосовують такі методи:

- Захисні покриття: Нанесення на поверхню труби ізоляційних покриттів, які створюють бар'єр між металом і агресивним середовищем.
- Катодний захист: Створення на поверхні металу катодного потенціалу, що перешкоджає процесу корозії.
- Протекторний захист: Використання металів з більш активним електрохімічним потенціалом (магнієвих або цинкових анодів) для захисту основного металу.
- Інгібітори корозії: Додавання в середовище спеціальних речовин, які сповільнюють процес корозії.

Вибір методів діагностики та захисту

Вибір оптимальних методів діагностики та захисту залежить від таких факторів:

- Матеріал трубопроводу
- Умови експлуатації (грунт, вода, агресивні середовища)
- Вимоги до надійності та безпеки
- Економічні фактори

1.2.1 Прилади та обладнання для вимірювання різниці потенціалів на підземних газопроводах

До приладів цієї групи належать вольтметри, мілівольтметри та мультиметри досить широкого асортименту [7].

Основна царица застосування приладів та обладнання цієї групи – оцінка захищеності трубопроводів від корозії, оцінка небезпеки корозії згідно визначених потенціалів і їх складових. Крім того, ці вимірювання використовують для оцінки стану захисного покриття.

Ампервольтметр М – 231 магнітоелектричної системи призначений для вимірів постійних струмів і напруг, у тому числі при корозійних вимірюваннях.

Ампервольтметр призначений для роботи при температурі повітря від -30°C до +40°C і відносній вологості 90 %.

Для розширення межі вимірювання струму можуть застосовуватися зовнішні шунти на 75 мВ.

Цифровий вимірювач різниці потенціалів ИРПЦ – 100 забезпечує вимірювання різниці потенціалів з автоматичним вибором межі вимірювань та індикацією полярності вхідного сигналу. Прилад має звукову сигналізацію з періодом 10 сек, що встановлює періодичність при проведенні вимірювань у зоні блукаючих струмів.

Мультиметр цифровий спеціалізований 43313 призначений для вимірів потенціалів на підземних металевих спорудах відносно електрода порівняння, а також напруги і сили струму. Прилад випускається в двох модифікаціях 43313.1 та 43313.2.

На діапазонах К2У та К20У передбачений аналоговий вихід. Номінальне значення сигналу на аналоговому виході становить 200 мВ. Значення межі допустимої основної приведенної похибки на аналоговому виході становить +2,5 %.

Прилад мобільного збирання даних "MoData" призначений для автоматизованих вимірювань при корозійних дослідженнях на газопроводах.

"MoData" складається з невеликого вологозахищеного комп'ютера та багатофункціонального перетворювача.

Прилад дає змогу виконувати вимірювання:

- потенціалів при ввімкнутих і вимкнутих катодних установах (вимірювання на пунктах вимірювання, інтенсивні вимірювання);
- градієнтів потенціалів;
- напруги (постійної, змінної);
- струму на внутрішніх та зовнішніх шунтах;
- опору постійного струму;

- опору ґрунтів.

За результатами вимірювань за допомогою спеціальних програм проводиться обробка даних вимірювань та будуються графіки потенціалів на принтері або плотері.

Аналізатор потенціалів "Поиск – 01" дає змогу одночасно вимірювати потенціали газопроводу "ввімкнено - вимкнено", значення градієнта, що вимірюється поперечною установкою, та одночасно оцінити відстань точки вимірювання від пункту вимірювання [2].

Наявність вмонтованої пам'яті дає змогу виконувати детальні ("інтенсивні") обстеження й зберігати виміряні значення протягом тривалого часу. Аналізатор потенціалів "Поиск" вимірює потенціали як при синхронній, так і несинхронній роботі переривачів струму катодних установок.

Вимірювання можуть виконуватись автономно або в комплексі з переривачами струму катодних установок, мідно – сульфатними електродами, трасошукачем, дальноміром (комплект "Поиск"). У кожній точці вимірювання отримується така інформація: значення потенціалу й двох градієнтів при ввімкнутих катодних установках; значення потенціалу й двох градієнтів при вимкнених катодних установках; відстань до реперної точки (пункту вимірювання); коментарі. Введення текстових коментарів у пам'ять аналізатора виконується з вмонтованої клавіатури аналізатора.

При відключенні джерела живлення й відновленні роботи пам'ять аналізатора зберігає поточну інформацію. Час зберігання інформації – до 10 років. Аналізатор має захист входу від перенапруги до 200 В. Для перезапису й обробки результатів вимірювання використовують ПЕОМ типу IBM PC і стандартний СОМ – порт.

Програмне забезпечення, реалізоване в Windows 95, дає змогу передивитися результати вимірювань у вигляді таблиць і графіків, забезпечуючи масштабування, а також роздрукувати їх.

Обробка даних вимірювань на ПЕОМ оцінює стан катодного захисту й ізоляційного покриття підземного газопроводу.

Мікроампермілівольтметр Н – 39, Н – 399 призначаються для вимірів і запису величин струму і напруги в колі постійного струму. При корозійних вимірах прилади застосовують для вимірів потенціалів і струмів у полях блукаючих струмів [3].

Запис результатів вимірювань ведеться чорнилами на діаграмній стрічці.

Час неперервного запису при повністю заповненій чорнильниці не менше 30 діб.

Живлення приладів передбачається від мережі змінного струму 220 В або від джерела постійного струму 12 В через перетворювач П 39, який перетворює постійний струм у змінний напругою 220 В.

Реєстратор автономний довготривалої дії “Рад – 256” дає змогу виконувати на двох каналах вимірювання потенціалів газопроводу, що повільно змінюються в часі. Герметичність корпусу, автономність і економічність живлення припускають його використання на трасі газопроводу в пунктах вимірювання.

Дата, початок вимірювань і періодичність вимірювань встановлюють за допомогою програми.

Отримані результати через СОМ – порт переписують у ПЕОМ типу ІВМ РС. Програмне забезпечення дає змогу проглянути результати вимірювань.

Пристрій для реєстрації даних “Minilog – 128” призначається для автоматичного вимірювання і реєстрації потенціалів і струму при корозійних вимірюваннях у полі блукаючих струмів.

Інтервал часу, через який ведеться відлік вимірів, можна програмувати за допомогою комп'ютера.

Після закінчення вимірювань через послідовний інтерфейс зареєстровані значення переносяться в персональний комп'ютер і, за допомогою спеціальної програми проводяться обчислення максимальних, мінімальних і середніх величин.

Мідно – сульфатний електрод ЗНЕС – 1. Призначення електрода довготривалої дії – створення контакту з ґрунтом для визначення потенціалів підземних металевих споруд при роботі спільно з катодним випростувачем для автома-

тичного підтримання захисного. Електрод може використовуватись і як переносний при вимірюванні потенціалів комунікації. В електроді застосовано іонообмінну мембрану, яка захищена сіткою.

1.2.2 Прилади для визначення місць пошкодження ізоляційного покриття

Для визначення місць пошкоджень ізоляційного покриття використовують прилади, що об'єднуються загальною назвою "шукачі пошкоджень".

Серед приладів, які застосовують для пошуку пошкоджень ізоляційного покриття, виділяють дві основні групи:

1. Прилади, які за допомогою контактів із ґрунтом вимірюють поле струму звукової частоти в місцях пошкодження ізоляції (метод Пірсона).

2. Прилади, які безконтактним методом вимірюють компонент електромагнітного поля і визначають величину струму в трубопроводі, що дає змогу знайти місця пошкодження ізоляції [5].

До першої групи входять шукачі пошкоджень типу АНПІ, Пеленг – 1, ИПІ – 85, УДИП – 1, ИПІ – 95.

У комплект апаратури, що фіксує поле струмів частотою 1000 Гц, як правило, входять: прилад – приймач з акустичною або акустичною і візуальною індикацією; генератор звукової частоти, блок живлення (12 або 24 В). Крім того, використовують польовий геофізичний провід та сталеві електроди для заземлення генератора і для контакту приладу-перетворювача з ґрунтом.

У комплекті апаратури, що фіксує поле струмів частотою 100 Гц, генератор відсутній, бо більшість катодних перетворювачів, що експлуатуються, виробляють захисний струм, в якому є складова з такою частотою.

У комплект апаратури, що фіксує поле струмів частотою від 1.55 до 25 Гц, входить модулятор, який устанавлюють в коло катодної установки.

Комплекс для пошуку пошкоджень ізоляції “Пеленг – 1” забезпечує нормальну роботу при температурі оточуючого повітря від -10 °С до +40 °С,

перехідному опорі "труба – земля" не менше 200 Ом·м² та питомому опорі фунту не більше 100 Ом·м.

Шукач пошкоджень ізоляції ИПИ – 85 призначений для пошуку дефектів в ізоляційному покритті магістральних трубопроводів, а також дозволяє визначити величину захисного потенціалу "труба – земля" із застосуванням мідно – сульфат- ного електрода порівняння, градієнтів потенціалів.

Шукач призначений для експлуатації на відкритому повітрі при температурі від 0° С до +50° С і відносній вологості 90° при температурі 30° С.

Шукач пошкоджень ізоляції ИПИ – 95 призначений:

- для пошуку місць пошкодження ізоляції трубопроводів;
- для визначення місцерозташування трубопроводу;
- для визначення глибини залягання трубопроводу. Апаратура ИПИ – 95 може працювати при температурі повітря від -20°С до +35°С і відносній вологості не більше 80°.

Система обстеження трубопроводів С – SCAN – 2000 є комп'ютеризованою портативною системою в функцію якої входить:

- визначення місцезнаходження трубопроводу по горизонтальній проекції і глибині;
- визначення стану ізоляційного покриття;
- визначення пошкоджень в ізоляції;
- зберігання в пам'яті інформації щодо обстеження;
- роздруковка звіту про стан трубопроводу.

Система С – SCAN – 2000 вкомплектована комп'ютером Notebook і портативним принтером.

Шукач пошкоджень ізоляції трубопроводів ИПИТ – 2 призначається для пошуку місць пошкоджень ізоляції підземних трубопроводів, а також для визначення місцезнаходження та глибини залягання трубопроводу.

Особливостями приладу є:

- безконтактний метод пошуку місць пошкоджень ізоляції реєстрацією змінювання електричного і магнітного полів навколо трубопроводу, які

наводяться генератором, що підключається;

- підвищений захист при роботі в зоні інтенсивних електромагнітних перешкод;

- місце пошкодження ізоляції фіксується відхиленням стрілки індикатора і звуковим сигналом.

У комплект приладу входять генератор, заземлювач, антенний і приймальний пристрій, навушники і кабелі для підключення.

1.2.3 Прилади для вимірювання електроопору

Вимірювачі електроопору заземлення М – 416; Ф 4103 – М1 призначені для вимірювання електроопору розтікання заземлювачів, питомого електроопору ґрунтів, а також активного опору.

Прилади розраховані для роботи при температурі від -25°C до $+60^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 90 %.

Вимірювач заземлення TEST – TERR 88 призначений для вимірювання опору заземлень і питомого електроопору ґрунтів.

Вибір діапазонів вимірювання вибирається автоматично. Одного комплексу елементів живлення достатньо для 1500 вимірів. Відлік вимірювання подається в цифровому вигляді.

1.2.4 Прилади для вимірювання адгезії

Адгезію стрічкового покриття визначають приладом АР – 2 по зусиллю її відшарування від труби зі швидкістю 1 см/хв під кутом 180 градусів. Адгезію бітумного покриття визначають приладом СМ – 1, принцип дії якого базується на вимірюванні зусилля, необхідного для зсуву ізоляції.

Основні технічні характеристики адгезиметрів

Характеристики	Прилад	
	СМ – 1	АР – 2
Вид ізоляційного покриття	бітумне	стрічкове

Межа вимірювання адгезії	0 – 10 МПа	0 – 8 Н/см
Похибка, %	6	6
Габарити, мм	346 × 108 × 128	330 × 82 × 40
Вага, кг	2,5	0,35

1.2.5 Прилади для пошуку місцезнаходження підземних металевих трубопроводів

Ці прилади призначаються для пошуку і визначення місцезнаходження підземних металевих трубопроводів і кабелів.

Трубокабелешукач “ПКСК” призначений для пошуку трубопроводів, силових кабелів; визначення глибини залягання підземних комунікацій; визначення місць пошкодження ізоляції. Комплект складається з генератора КТП – 2Г, адаптера для підключення до мережі живлення; приймача ПКСК, електромагнітної пошукової системи, контактної пристрою, зарядного пристрою; футляра для комплекту приладів.

Трубокабелешукач "ТУКАН" призначений для пошуку трубопроводів, силових кабелів під напругою і без неї.

До складу "ТУКАНА" входять два головних блоки – приймач і генератор імпульсно – модульованих сигналів.

Прилад "ТУКАН" має два основних режими роботи:

пасивний режим – режим пошуку комунікацій по наведеному на них електромагнітному полю сторонніми джерелами. При цьому генератор не підключається;

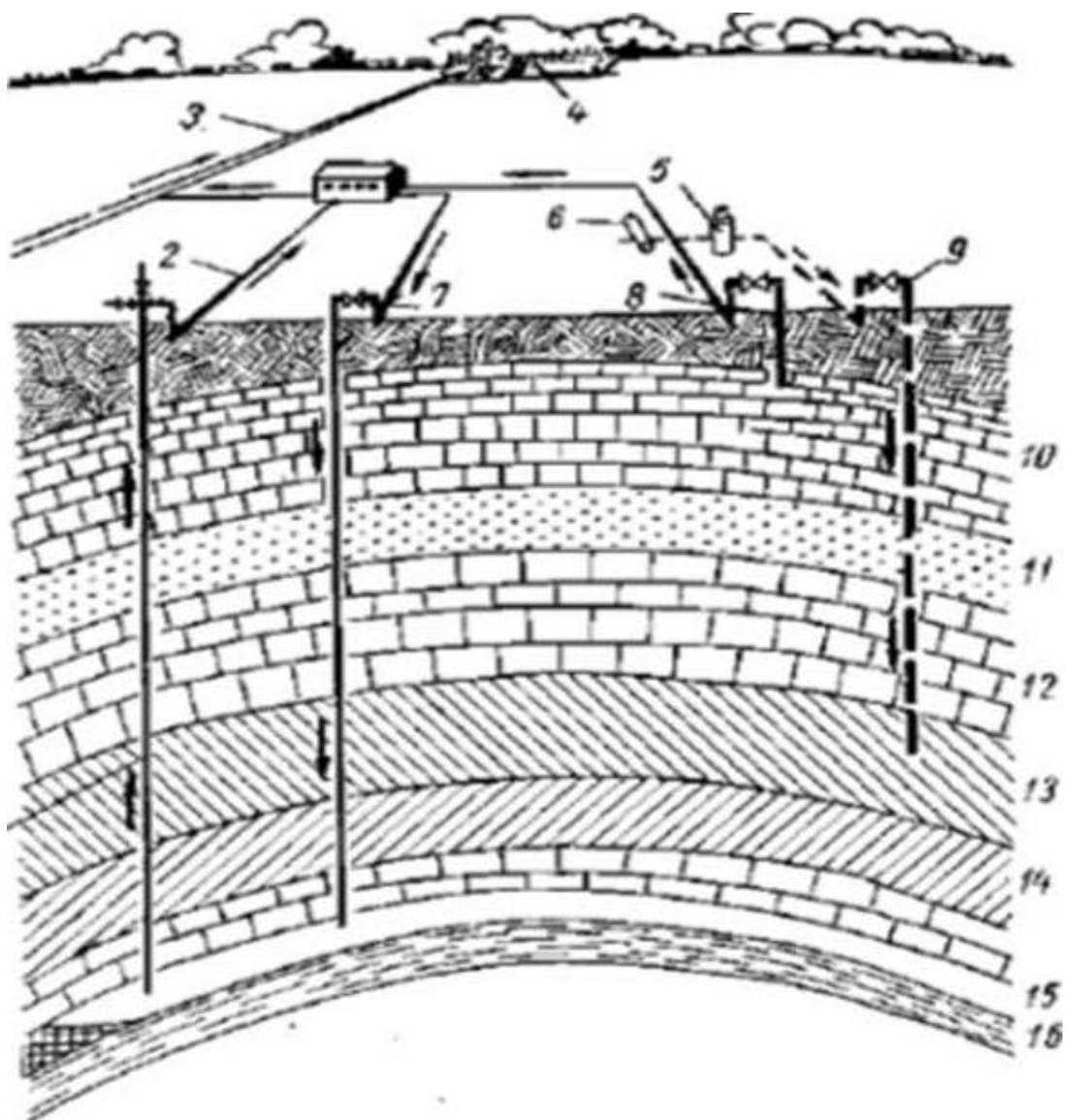
активний режим – режим пошуку трубопроводів за допомогою електромагнітного поля генератора "ТУКАН". При цьому збудження електромагнітного поля забезпечується індуктивним або контактним способами.

Трасошукачі серії РМ – 9800 призначені для пошуку трас трубопроводів, кабелів і визначення глибини їх залягання.

Прилад РМ має чотири модифікації: РМ – 9810, РМ – 9850, РМ – 9860,

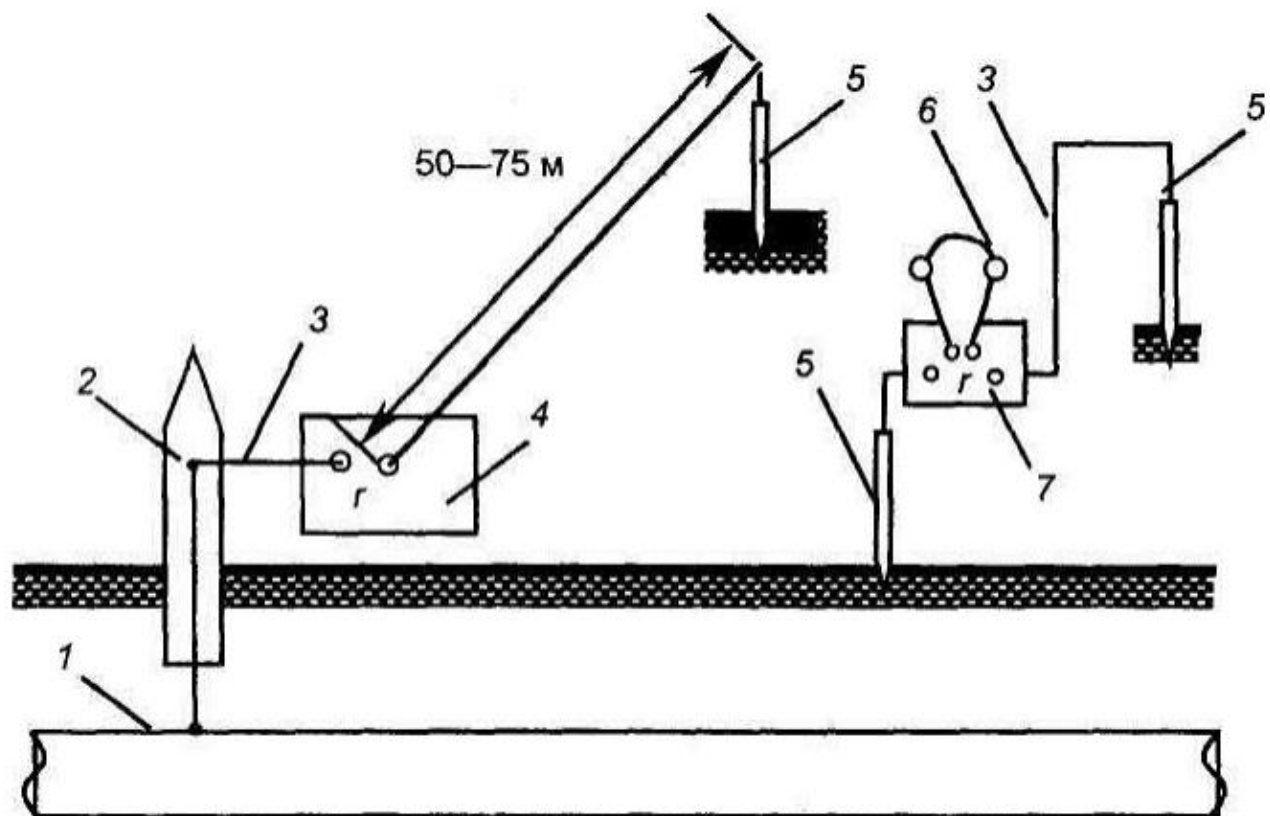
PM – 9890.

Глибина залягання показується на табло в цифровому виді. Визначення траси трубопроводу здійснюється за допомогою акустичного й оптичного сигналів.



1 – газопровід; 2 – пункт вимірювання; 3 – провід; 4 – генератор; 5 – робоче заземлення; 6 – приймач; 7 – телефони; 8 – антена;

Рисунок 1.1 – Схема визначення глибини залягання газопроводу.



1 – трубопровід; 2 – пункт вимірювання, через який генератор приєднано до труби; 3 - з'єднувальний провід; 4 – генератор; 5 – електрод заземлення; 6 – телефони-навушники; 7 – приймач-підсилювач.

Рисунок 1.2 – Схема визначення пошкоджень в ізоляційному покритті газопроводу шукачем пошкоджень.

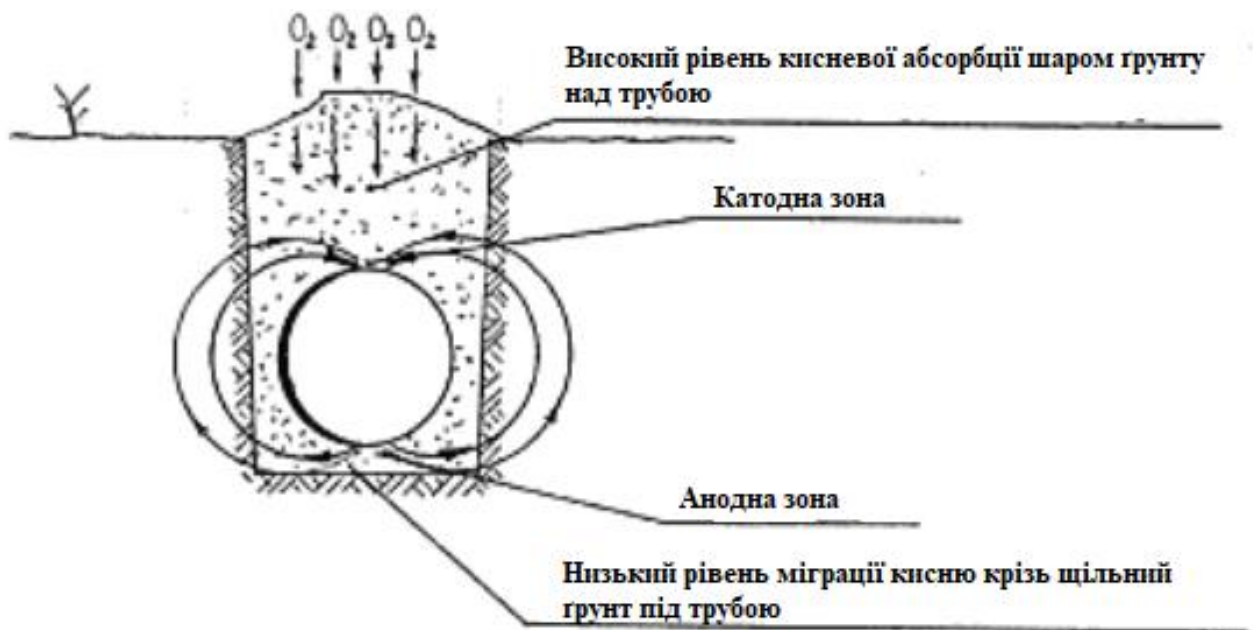


Рисунок 2.1 – Корозія трубопроводу, який залягає в ґрунті з різною аерацією і вологістю.

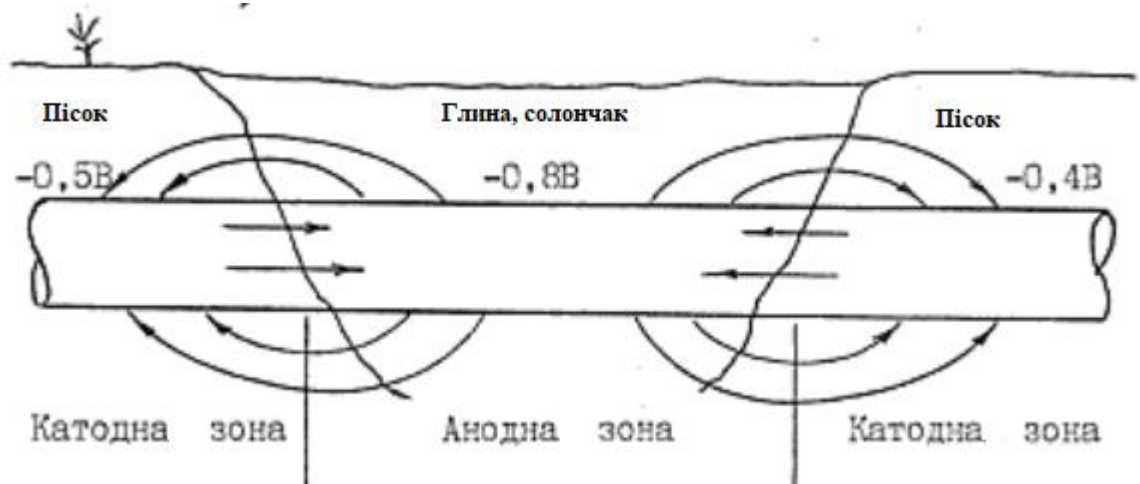
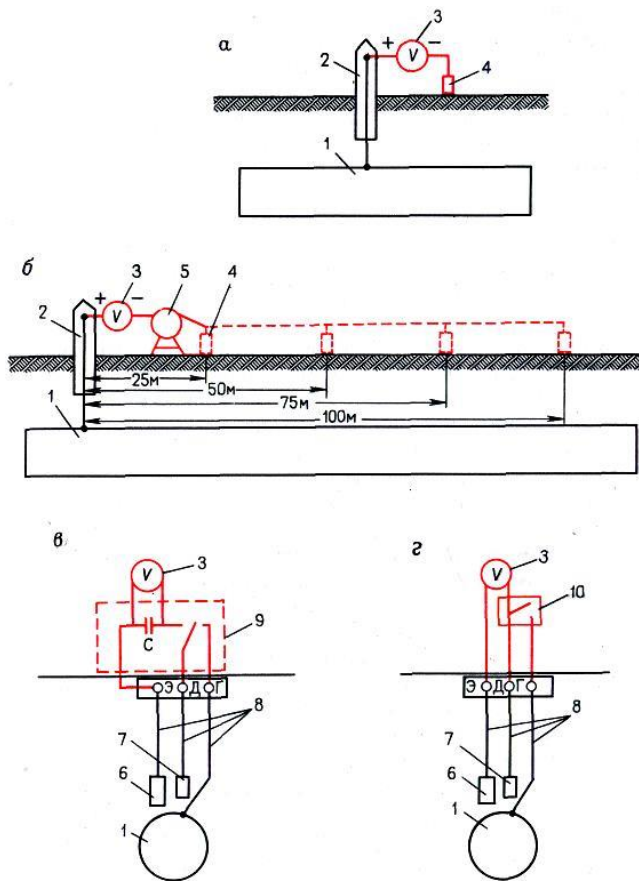
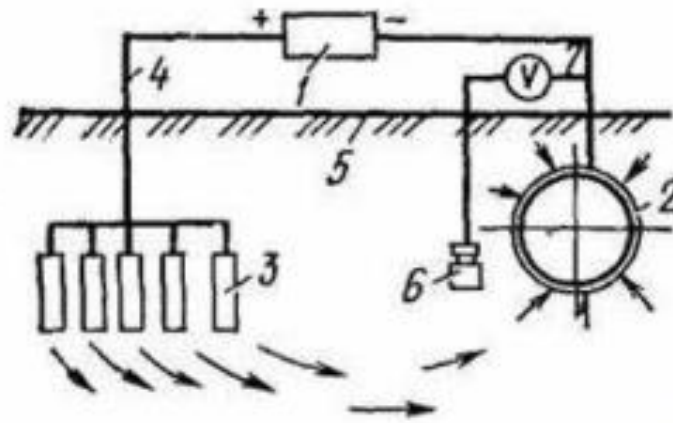


Рисунок 2.2 – Утворення корозії трубопроводу, який залягає у різних грунтах.



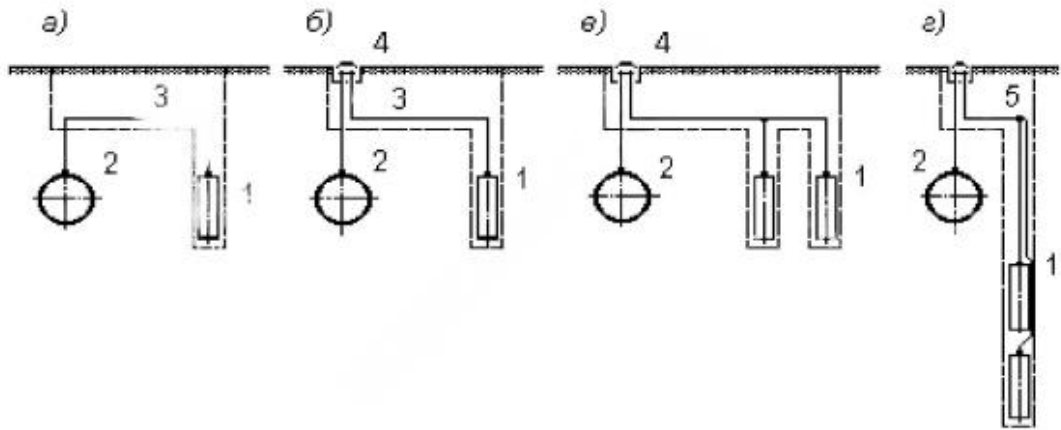
1 – трубопровід; 2 – контрольно – вимірювальний пункт; 3 – вольтметр; 4 – котушка з проводом; 5 – мідно – сульфатний електрод; а – крок вимірювань.

Рисунок 2.3 – Схема вимірювання різниці потенціалів “труба – земля” методом виносного електрода.



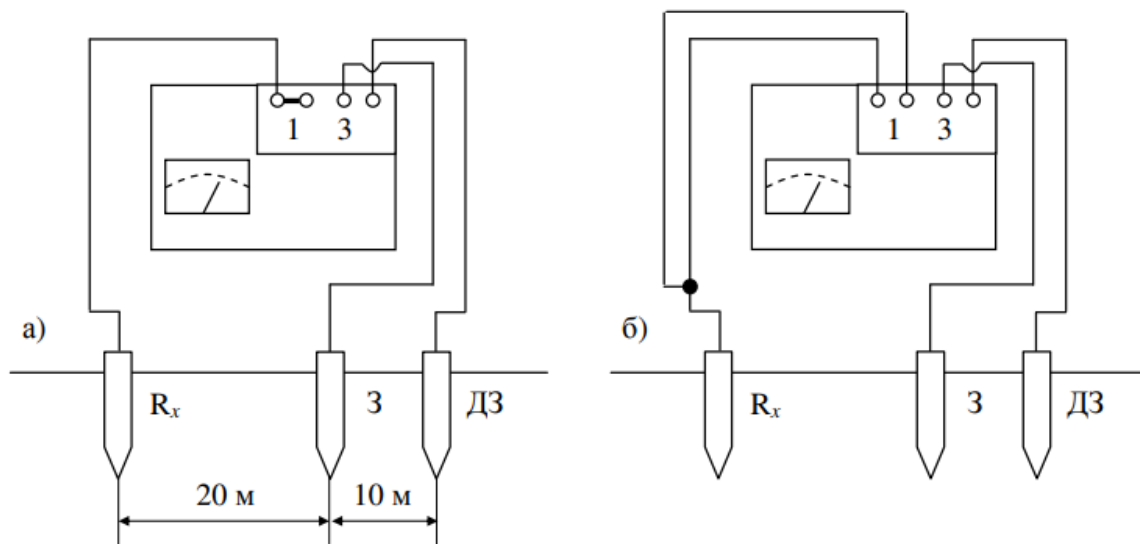
1 – трубопровід; 2 – мідно – сульфатний електрод; 3 – мілівольтметр; 4 – з’єднувальні провідники; 5 – ґрунт.

Рисунок 2.4 – Вимірювання градієнта потенціалу поперечним методом.



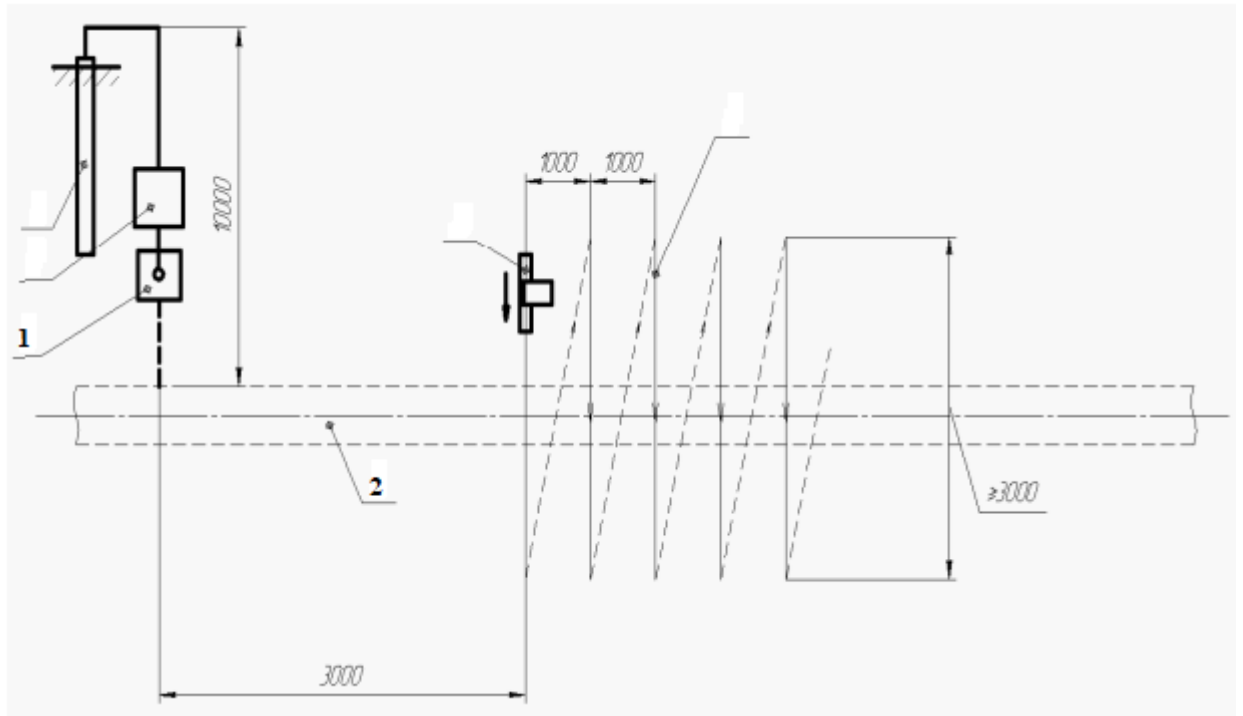
1 – трубопровід; 2 – контрольно – вимірювальний пункт; 3 – вимірювальний прилад МС – 08 або М – 416; 4 – з'єднувальні провідники; 5 – металеві електроди.

Рисунок 2.6 – Схема перевірки стану контрольно – вимірювального пункту.



1 – контур анодного або захисного заземлення; 2 – вимірювач заземлення МС – 08 або М – 416 (зверху маркування клем МС – 08, знизу М – 416); 3,4 – вимірювальні електроди.

Рисунок 2.7 – Схема вимірювання опору заземлення приладами МС – 08, М – 416.



1 – контрольно – вимірювальний пункт; 2 – трубопровід; 3 – контактний штир.

Рисунок 2.8 – Схема вимірювання сили струму в трубопроводі методом спаду напруги.

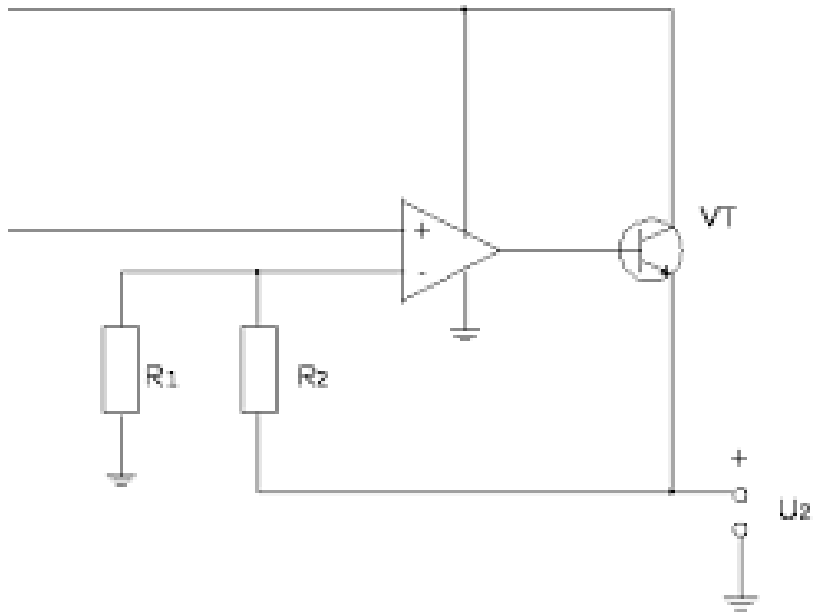


Рисунок 2.9 – Транзисторний стабілізатор напруги компенсаційного типу на операційному підсилювачі.

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО ОБСТЕЖЕННЯ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ ТА РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Аналіз факторів впливу на стан підземних трубопроводів

Корозійна ситуація, в якій знаходиться металічний трубопровід в ґрунті, залежить від великої кількості факторів, пов'язаних з особливостями ґрунтових і кліматичних умов, особливостями його будівництва і експлуатації та ін. Тому оцінку проводять шляхом сукупного аналізу кількох факторів і вимірних параметрів, які характеризують корозійний стан на конкретній ділянці трубопроводу [5].

В якості факторів, які істотно впливають на корозійну ситуацію, наступні: вологість ґрунту і його змінювання на протязі року, структура ґрунту, хімічний склад ґрунту і ґрунтової води, частота чергування різного роду ґрунтів, вид і стан ізоляційного покриття, температура газу, який транспортується по трубопроводі, час знаходження трубопроводу без електрохімічного зухисту і стабільності роботи в часі, наявність електричнозв'язаних підземних комунікацій та ін.

Вологість ґрунту відіграє велику роль в протіканні корозійних процесів. При малій вологості великий опір ґрунтів, що призводить до зменшення протікаючого корозійного струму. При великій вологості електричний опір зменшується, але сильно затруднюється дифузія кисню до поверхні металу, в результаті чого корозійний процес сповільнюється. Максимальна корозія спостерігається при вологості 15 – 20%.

Хімічний склад ґрунту є одним із рішачючих факторів, який обумовлює корозійну небезпеку ґрунтів. В залежності від хімічного складу ґрунтів і ґрунтового електроліту, ґрунт має рівну електричну провідність. Чим вищий питомий опір ґрунтів при інших рівних умовах, тим умови менш корозійно –

небезпечні, і навпаки, чим нижчий питомий опір ґрунтів, тим умови більш корозійно – небезпечні.

Одним із важливих факторів, які впливають на швидкість корозії, є кислотність ґрунтового електроліту (рН).

Вид і структура ґрунту в основному впливає на швидкість дифузії кисню повітря до поверхні трубопроводу. В результаті чого на різних ділянках трубопроводу створюються різні умови для дифузії кисню (різна ступінь аерації ґрунту), виникають умови для утворення корозійних гальванічних елементів (пар). Чим більша різниця ступені аерації різних ділянок, тим більша швидкість корозії. При проходженні трубопроводу з різною глибиною залягання, з чергуванням ґрунтів, які мають значну відмінність в ступені аерації, вірогідність виникнення корозійних гальванічних пар висока.

В зв'язку з тим, що різні види ізоляційного покриття мають різну дифузійну проникливість, вони по різному забезпечують герметизацію трубопроводу від навколишнього середовища, і чим ця герметичність нижча, тим більш благоприємні умови для протікання корозії. Але найбільш небезпечні є наскрізні дефекти в ізоляційному покритті. Практично ґрунтова корозія протікає на оголених ділянках трубопроводу, в місцях наскрізних дефектів в ізоляційному покритті, а також під відшарованою стрічковою ізоляцією.

Температура газу обумовлює температуру стінок трубопроводу і прикладеного до стінок трубопроводу ґрунтового електроліту. З підвищенням температури електроліту до 75 – 80% швидкість корозії значно збільшується, при подальшому підвищенні температури швидкість корозії, як правило, зменшується із – за висихання ґрунту, який прикладений до трубопроводу [11].

Ступінь корозійних пошкоджень пропорційна часу знаходження трубопроводу без електрохімічного захисту. В час експлуатації трубопроводу без електрохімічного захисту входить час запізнення будівництва електрохімічного захисту в порівнянні з будівництвом газопроводу, а також час простоїв засобів електрохімічного захисту після їх включення (стабільність роботи засобів ЕХЗ). При цьому необхідно враховувати, що при частому

відключенні засобів ЕХЗ можуть виникати значні урівняльні струми, які можуть значно посилити корозійні пошкодження трубопроводу.

При визначенні часу знаходження трубопроводу без ЕХЗ, також необхідно враховувати ділянки, на яких при роботі засобів ЕХЗ відсутній нормований потенціал [12].

Неоднорідність контакту металу трубопроводу з ґрунтом призводить до різної аерації його і утворенню корозійних гальванічних елементів.

Якщо в покритті металічного трубопроводу є тріщини, проколи і інші пошкодження, то ці участки металу добре аеруються, і в результаті утворюються корозійні елементи. Продукти корозії припіднімають покриття, в якому виникають нові тріщини. Умови аерації поверхні металу змінюються, викликаючи при цьому іонний розклад анодних і катодних зон і змінюють площу металу, який покривається корозією.

Різниця потенціалів корозійного елемента залежить від величини електрохімічних потенціалів анода і катода. Однак, з моменту замикання електричного кола під впливом поляризації електродів ці потенціали змінюються. Потенціал катода стає більш від'ємним, а потенціал анода – більш додатнім. Різниця потенціалів між анодом і катодом знижується. Відповідно струм в колі корозійного елемента також знижується, і відповідно зменшується швидкість корозії.

Струм корозійного елемента визначається за формулою:

$$I = \frac{(U_K - U_A) - (\Delta U_K + \Delta U_A)}{R_o}, \quad (2.1)$$

де U_K - електрохімічний потенціал катода;

U_A - електрохімічний потенціал анода;

ΔU_K - зміщення потенціала катода;

ΔU_A - зміщення потенціала анода;

R_o - загальний опір кола.

В залежності від розміру електродів корозійні гальванічні елементи

розділяються: на макроелементи (електроди гарно розрізняються неозброєним оком), на мікроелементи (електроди розрізняються лише за допомогою мікроскопа) і субмікроелементи (величина електродів лежить за межами роздільної здатності оптичного мікроскопа).

Корозійні елементи класифікують також по числу електродів: двохелектродні (по одному аноду і катоду) і багатоелектродні (більше двох електродів).

Внаслідок диференціальної аерації в нижній частині підземного горизонтального трубопроводу корозійних пошкоджень більше, і вони більш інтенсивні, ніж у верхній частині. Верхня частина труби в цьому випадку є катодом, а нижня – анодом і піддається інтенсивній корозії (рис. 2.1).

Диференціальна аерація виникає також вздовж трубопроводу (рис. 2.2), якщо ґрунти мають різну потропроникність.

2.2 Захист магістральних трубопроводів від підземної корозії

Захист магістральних трубопроводів від підземної корозії здійснюється як ізоляційним покриттям, так і засобами електрохімічного захисту.

Принцип електрохімічного захисту зводиться до накладення на підземний трубопровід катодного струму від незалежного джерела струму токої величини, що вся поверхня трубопроводу стає катодною і в анодній зоні немає стікаючих анодних струмів [9].

Корозійний ефект, очевидно, визначається загальним анодним струмом:

$$i_a = j_a \cdot S_a, \quad (2.2)$$

де j_a - густина анодного струму;

S_a - площа анодної ділянки трубопроводу.

Густина захисного струму:

$$j_z = \frac{I_0}{S_a + S_k}, \quad (2.3)$$

де I_0 - загальний струм в ланцюзі захисту;

S_k - площа катодної ділянки трубопроводу.

При дії захисного струму на анодній ділянці сумарний струм буде:

$$i_{a.c} = j_a - j_z, \quad (2.4)$$

на катодній ділянці:

$$i_{k.c} = j_k + j_z. \quad (2.5)$$

Для зупинки корозії необхідно і достатньо, щоб:

$$i_{a.c} = 0, \quad (2.6)$$

тобто,

$$j_z = j_a, \quad (2.7)$$

тоді

$$I_0 = j_a \cdot (S_a + S_k) \quad (2.8)$$

Це означає, що струм катодного захисту завжди більший за струм корозії:

$$I_0 > j_a \cdot S_a. \quad (2.9)$$

Про ефективність застосування, при захисту від корозії магістральних трубопроводів, методів можна судити за ступенем зниження швидкості корозії. Для цього зручно користуватися коефіцієнтом захищеності або коефіцієнтом захисної дії:

$$k_z = \frac{v_k - v'_k}{v_k} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

де k_z - коефіцієнт захисної дії або захищеності, %;

v_k - швидкість корозії без застосування захисних засобів;

v'_k - швидкість корозії при застосуванні захисних засобів.

Швидкість корозії може бути виражена у вагових $[\text{г}/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})]$ чи у глибинних (мм/год) одиницях.

При великій густині захисту, коли $v'_k = 0$, коефіцієнт захищеності $k_z = 100$ %.

Для забезпечення тривалої і надійної роботи магістральних газопроводів вони повинні бути забезпечені захистом, близьким до повного захисту.

Корозійні умови протяжного магістрального трубопроводу як по довжині, так і по периметру різні. Можна стверджувати, що існує дуже багато місць, швидкість корозії в яких коливається від 0 до $v_{k \max}$. Засоби по захисту магістральних трубопроводів не можуть бути так диференційовані, як корозійні умови.

При будівництві магістральних трубопроводів в процесі нанесення ізоляційного покриття, а також при опусканні і засипуванні їх ґрунтом можливі наскрізні дефекти в покритті.

В період експлуатації під дією різних факторів ізоляційне покриття старіє і дефекти, які раніше утворилися розширюються і виникають нові. Швидкість корозії в місцях дефектів може досягати значної величини.

При наявності в ізоляційному покритті наскрізних дефектів діаметром більше 1 мм захищеність споруди не буде рівною 100 %. Так як на підземних магістральних трубопроводах ізоляційне покриття завжди має наскрізні дефекти, які виникають в період будівництва і експлуатації, разом з ізоляційним покриттям при захисті магістральних трубопроводів від корозії застосовують засоби електрозахисту [12].

Розглянемо обмежену поверхню S_0 металевої труби, яка контактує з електролітом ґрунту. Припустимо, що на поверхні S_0 по тим чи іншим причинам виникло n ділянок з різними електродними електрорушійними силами (ЕРС). Виберемо номери ділянок по величині електродної ЕРС так, щоб $E_1 < E_2 < E_3 < \dots < E_n$. В результаті взаємодії електродних ЕРС виникають зрівноважуючі струми, із – за чого частина ділянок стає анодними, а частина – катодними. В цьому випадку значення електродної ЕРС i – ї ділянки можна представити рівнянням:

$$E_i = E_n + \frac{E_1 - E_n}{n - 1} \cdot (n - i); \quad (2.11)$$

або

$$E_i = E_1 - \frac{E_1 - E_n}{n-1} \cdot (i-1). \quad (2.12)$$

Припустимо, що питомий опір анодних і катодних ділянок не залежить від протікаючого струму, тоді:

для анодних ділянок

$$r_i^a = \frac{r_0^a}{S_i}; \quad (2.13)$$

для катодних ділянок

$$r_i^k = \frac{r_0^k}{S_i}, \quad (2.14)$$

де r_0^a і r_0^k - відповідно питомий опір анодних і катодних ділянок, Ом·см²;

S_i - площа розглядуваної i - ї ділянки, см².

Для даного випадку справедлива рівність:

$$\sum_{i=1}^n i_i = 0, \quad (2.15)$$

де i_i - струм i - ї ділянки, А.

Стаціонарний потенціал даної ділянки стінки труби визначається формулою:

$$E_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^m E_i \cdot \frac{1}{r_0^k} + \sum_{i=m}^n E_i \cdot \frac{1}{r_0^a}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{r_0^k} + \sum_{i=m}^n \frac{1}{r_0^a}}, \quad (2.16)$$

де m - номер ділянки, через яку не протікає струм (знаходиться на межі розділу катод - анод).

Струм на будь - якій i - й ділянці визначається з формули:

$$i = \frac{E_i - E_{cm}}{r_i}. \quad (2.17)$$

Максимальна густина стікаючого струму буде спостерігатися на ділянці з

найбільшим значенням електродної ЕРС (E_n):

$$j_{max} = \frac{i_n}{S_n} = \frac{E_n - E_{cm}}{r_0^a}. \quad (2.18)$$

Очевидно, що швидкість утворення каверни пропорційна густині стікаючого струму j_a .

Вагові втрати визначаються загальним анодним струмом. Умови захищеності в цьому випадку буде:

$$k_3 = \frac{j_{max} - j_{max}^3}{j_{max}} \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

або

$$k_3 = \frac{\Delta E}{E_n - E_{cm}} \cdot 100\%. \quad (2.20)$$

Для отримання $k_3 = 100\%$, необхідно, щоб зміщення стаціонарного потенціалу було:

$$\Delta E \geq E_n - E_{cm}. \quad (2.21)$$

Тоді вимірювана різниця потенціалів труба – електроліт буде:

$$U_{1-2} = E_n. \quad (2.22)$$

При наявності на трубопроводі численних окремих дефектів в ізоляції спостерігається їх взаємодія, внаслідок чого виникають макрокорозійні пари, які характеризують анодні і катодні ділянки на трубопроводі.

Ми розглядали захищеність трубопроводу, припускаючи, що із – за наявності адгезії контакт електроліта ґрунту з поверхнею труби є тільки в дефектах або порах в ізоляції. В реальних умовах спостерігаються випадки, коли по тих чи інших причинах навколо дефекту відсутня адгезія покриття до поверхні труби, тому під покриттям може знаходитися тонкий слой електроліту.

При катодному захисті струми попадають (через пору або дефект в покритті) на трубу лише на обмежену ділянку, розмір якої більший розміру пори чи дефекту приблизно на дві товщини слоя вологи під покриттям.

Ділянки труби, розміщені далше від дефекту, катодній поляризації не

піддаються, і на них в принципі можуть протікати корозійні процеси. Однак швидкість корозії буде невелика через наступні причини: доступ кисню до цих ділянок дуже обмежений і, крім того, при катодному захисті в районі входу струму в трубу спостерігається підвищення концентрації гідроксидів – іонів (OH^-), внаслідок чого рН електроліта підвищується. При тривалому катодному захисті із – за рухливості іонів (OH^-) рН буде підвищуватися і у всьому об'ємі електроліта під покриттям.

2.3 Розробка методики комплексного обстеження стану трубопроводів та установки для її реалізації

Основним завданням комплексних обстежень є визначення стану протикорозійного захисту та корозійного стану трубопроводів для забезпечення надійної ефективної експлуатації газотранспортної системи з метою попередження аварій, нещасних випадків та охорони навколишнього середовища.

2.3.1 Характеристика засобів вимірювальної техніки для комплексного обстеження

Прилади та обладнання, які застосовуються при контролі корозійного стану, за призначенням можна поділити на такі групи:

- прилади та обладнання для періодичних спостережень за контрольованими параметрами по трасі трубопроводу;
- прилади та обладнання для постійних спостережень за контрольованими параметрами в характерних точках траси;
- система апаратури, приладів і програм для інформаційного забезпечення.

За функціональним призначенням виділяють апаратуру й обладнання:

- для електричних вимірювань (електрометричні прилади);
- для топографо – геодезичних вимірювань;

- для мікробіологічних і хімічних досліджень;
- комплекс апаратури для накопичення, обробки й аналізу інформації.

Прилади та обладнання, що використовуються при періодичних спостереженнях по трасі трубопроводу, повинні бути польового виконання: витримувати трясіння при перевезенні і перенесенні, бути волого – та пилезахищеними, працездатними в широкому діапазоні температур, мати автономне живлення і бажано бути малогабаритними.

Вольтметри, які застосовуються для вимірювання потенціалів, повинні мати великий внутрішній опір, щоб підключення їх у вимірювальне коло не порушувало вимірюваного значення потенціалів. Величина вхідного опору повинна бути не менше 10 МОм/В. В останні роки почали розроблятися і застосовуватися прилади з мікропроцесорами: дані вимірювань не лише виводяться на індикатор, а також запам'ятовуються, виконується їхня попередня автоматична обробка. Ці дані можна легко перенести з приладу на комп'ютер інформаційного забезпечення [2].

Прилади й обладнання, що використовуються для постійних спостережень в окремих характерних точках, повинні бути польового виконання, але вони можуть бути більш габаритними, а живлення забезпечуватися від сторонніх джерел електроенергії. Працездатність їх має бути надійною за будь – яких погодних і температурних умов протягом не менше 10 років.

Система інформаційного забезпечення повинна включати інформаційну модель опису об'єкта й організацію поповнення її даними. Програми інформаційної системи повинні забезпечувати структурний взаємозв'язок складових моніторингу. Система інформаційного забезпечення повинна також забезпечити функціональний зв'язок складових моніторингу.

2.3.2 Методика комплексного обстеження стану трубопроводів

Комплексне обстеження стану газопроводу передбачає обстеження засобів захисту, обстеження електрохімзахисту газопроводу, обстеження стану

ізоляційного покриття газопроводу, обстеження корозійного стану газопроводу і обстеження навколишнього середовища вздовж траси газопроводу.

Метод діагностичних обстежень магістральних газопроводів – це комплекс електрометричних вимірювань контактними і безконтактними методами, які орієнтовані на пошук пошкоджень ізоляційного покриття підземного трубопроводу шляхом виявлення аномалій електричного або магнітного поля створеного катодним струмом, що натікає на трубопровід для захисту його від корозії. Враховуючи те, що аномалії електричного і магнітного поля трубопроводу обумовлені не лише дефектами ізоляції, але і іншими неоднорідностями електромагнітних параметрів газопроводу і навколишнього середовища вздовж газопроводів, а також неможливістю візуального спостереження досліджуваного об'єкта, відсутністю пристроїв і приладів, які безпосередньо визначають параметри дефектів в тілі труби та ізоляційному покритті, обстеження корозійного стану газопроводу здійснюється методами діагностики. Все це вимагає виконання великого комплексу спеціальних вимірів і їх аналізу для отримання необхідної інформації про стан підземного трубопроводу.

2.3.2.1 Види і задачі обстеження

Обстеження стану електрохімічного захисту (ЕХЗ) ділянки трубопроводу передбачає виявлення технічного стану всіх засобів електрохімічного захисту, визначення стану електрозахищеності ділянки по протяжності і в часі, виявлення можливості її стопроцентного забезпечення.

Обстеження стану ізоляційного покриття ділянки трубопроводу передбачає визначення загальної оцінки стану ізоляції ділянки, а також виявлення кожного місця наскрізного дефекту і оцінку масштабів дефектності на кожному погонному метрі трубопроводу.

При обстеженні корозійного стану ділянки трубопроводу визначається ступінь пошкодження корозією зовнішньої стінки тіла трубопроводу на кожному

погонному метрі з загальною оцінкою збільшених ділянок, визначенням максимальної середньої швидкості корозії.

Комплексне обстеження корозійного стану трубопроводу передбачає обстеження і вирішення задач, визначених у попередніх пунктах.

Обстеження корозійного стану перед капітальним ремонтом трубопроводів передбачає детальне обстеження стану ізоляційного покриття і корозійного стану трубопроводу на ділянках, які плануються на капітальний ремонт з визначенням конкретних видів і об'ємів ремонтних робіт на кожному погонному метрі трубопроводу.

2.3.2.2 Методичні рекомендації по обстеженню стану електрохімічного захисту від корозії

Електрозахисність – це наявність нормованої різниці потенціалів "труба – земля" включено – виключено на всій протяжності газопроводу, який обстежується (в будь – якій його точці).

Для визначення ступені електрозахисності газопроводу, його ділянок, виконують слідуючі роботи:

Вимірюється різниця потенціалів "труба – земля" при включених і виключених засобах катодного захисту на момент початку обстеження газопроводу методом інтенсивних вимірювань. Крок вимірювань 10 (5) метрів з деталізацією аномальних ділянок 1 – 5 метрів. Незалежно від вибраного способу вимірювань обов'язково виконання підливу води під електроди зрівняння.

Одночасно проводиться реєстрація режимів роботи установок катодного захисту.

Вимірюється поперечний чи продольний градієнт потенціалів при включених і виключених УКЗ методом інтенсивних вимірювань.

Ділянки, захист яких не забезпечується експлуатаційними режимами УКЗ, підлягають повторним вимірюванням після коректування режимів (якщо це

можливо) і поляризації газопроводів протягом більше 6 годин.

Визначення глибини залягання трубопроводу з кроком 100 м. Деталізація глибини залягання проводиться на ділянках з різкими нерівномірними змінами вимірювання глибини залягання.

Виявлення корозійно – небезпечних ділянок проводиться по результатах вимірювань питомого електроопору ґрунтів по трасі трубопроводу симетричною 4 – х електродною установкою з кроком 100 м.

Контрольні вимірювання по кожному методі повинні складати 5 – 10% основних вимірювань.

Результати обстеження заносяться в базу даних програмно – технічного комплексу "Комплексне обстеження корозійного стану підземних трубопроводів".

Проводиться попередня обробка результатів вимірювань.

По результатах попередньої обробки, видаються координати місць проведення шурфування, проводиться візуальний огляд і інструментальні вимірювання захисного покриття і корозії тіла труби.

В період польового електрометричного обстеження передбачається проведення дослідних робіт з метою вдосконалення даної методики.

Установка катодного захисту – це комплекс споруджень, який призначений для катодної поляризації трубопроводу зовнішнім постійним струмом. Установка катодного захисту складається з перетворювача напруги (станції катодного захисту – СКЗ), анодного заземлення, катодного виводу і з'єднувальних електродів.

Складовими частинами електричного ланцюга УКЗ є трубопровід, який захищається і об'єм ґрунтів, які замикають анодні і катодні ділянки ланцюга.

Метою обстеження установок катодного захисту трубопроводів є визначення технічного стану і можливості забезпечення неперервної в часі і достатньої по рівню катодної поляризації на всій довжині трубопроводу діючими установками.

2.3.2.3 Методичні рекомендації по обстеженню ізоляційного покриття трубопроводів

Ізоляційне покриття являється основним компонентом комплексного захисту трубопроводів від корозії і його стан є основним критерієм ефективності електрохімічного захисту.

Стан ізоляційного покриття трубопроводу, його ділянок визначається на підставі порівняльного аналізу експлуатаційної і проектно – вишукувальної документації, результатів електрометричних вимірювань з виборочною оцінкою в шурфах.

Після виконання підготовчих робіт, виконання електрометричних вимірювань і обстеження стану і параметрів установок катодного захисту, камеральної обробки результатів в програмно – технічному комплексі "Комплексне обстеження корозійного стану підземних трубопроводів" визначається стан ізоляційного покриття (пошкодження, старіння та ін.) і визначаються координати місць проведення шурфування.

Після проведення шурфовки, очистки поверхні трубопроводу проводять огляд ізоляції і виконують наступні роботи:

- виявляють і фіксують (крейдою) всі вертикальні і горизонтальні гофри, складки ізоляції, пустоти вздовж зварювальних швів, в місцях напуску стрічки і інших нерівностях, а також всі явно виражені механічні пошкодження (тріщини, здири, опливи, наскрізні проколи, пропуски ізоляції і т.д.)

Перераховані дефекти оглядають, прощупують з метою виявлення тріщин, проколів, наявності вологи, ґрунту, продуктів корозії під ізоляцією:

- визначають розміри, площу окремих пошкоджень, їх кількість, сумарну площу;
- відмічаються найбільше характерні дефекти пошкодження покриття з вказанням їх місцезнаходження, характеру і розміру;
- визначають крихкість і ступінь еластичності матеріалу ізоляції;
- перевіряють і оцінюють адгезію ізоляційного покриття зверху, з боків і

знизу труби.

2.3.2.4 Методичні рекомендації по обстеженню корозійного стану трубопроводу

Після виконання збору і аналізу проектних і експлуатаційних матеріалів, які характеризують корозійні умови, і фактичні дані про корозію, приступають до виконання безпосереднього обстеження.

Сукупність впливаючих на процеси корозії факторів проявляються в протіканні різної величини струмів мікро- і макрокорозійних пар.

Про інтенсивність протікання корозійних процесів можливо судити по деяким параметрам, які вимірюються безпосередньо на об'єкті який обстежується.

До таких параметрів відносяться:

- час деполяризації трубопроводу;
- значення і розподілення природнього потенціалу вздовж трубопроводу;
- значення і розподілення продольних і поперечних градієнтів поля корозійних струмів (при відключених засобах ЕХЗ і повністю розполяризованих трубопроводах);
- значення і розподілення питомого опору ґрунта.

Час деполяризації трубопроводів (при порівнянні стану ізоляційного покриття) до встановленого мінімального значення потенціалу, являється однією із характеристик корозійної небезпеки трубопроводу. Швидке протікання деполяризації свідчить про наявність умов для інтенсивного протікання корозійних процесів. Відповідно, повільне протікання деполіризації свідчить про умови з меншою інтенсивністю протікання корозійних процесів. Час деполяризації визначається від моменту відключення засобів ЕХЗ до моменту, коли за останні дві години спостереження падіння значення потенціалу не перевищує 0,05 В. Практично час деполяризації коливається для різних умов від декількох годин до декількох діб. Як вже відмічалось вище, чим менший час

деполяризації, тим більша корозійна небезпека при інших рівних умовах.

Значення і розподілення природнього потенціалу "труба – земля" характеризує корозійну ситуацію наступним чином:

- чим вище абсолютне значення природнього потенціалу, тим вища корозійна небезпека;

- чим нижче абсолютне значення природнього потенціалу, тим нижча корозійна небезпека.

При цьому необхідно враховувати, що саме по собі значення природнього потенціалу в одному місці не може характеризувати корозійну небезпеку. Для виявлення корозійної небезпеки необхідно порівняти значення потенціалів на суміжних ділянках трубопроводу. Тому найбільш небезпечними є ділянки трубопроводу, на яких на невеликій відстані спостерігаються значні коливання значень природнього потенціалу, в той же час ділянки трубопроводу, які мають більш високий потенціал і який не змінюється на великій протяжності, будуть менш корозійно небезпечними.

Вимірювання значень природнього потенціалу з цілю в'яснення характеру розподілу його вздовж трубопроводу проводиться методом виносного електроду. Крок вимірювання при цьому в залежності від конкретної ситуації може бути від 1 до 10 м.

На підземному трубопроводі, на його поверхні утворюються корозійні гальванічні елементи (корозійні мікропари). При цьому електричний струм корозійного елемента проходить по ґрунті (стікає з трубопроводу на анодних ділянках і натікає на трубопровід на катодних ділянках). Цей струм створює в ґрунті навколо трубопроводу електричне поле, вимірюючи параметри цього поля, можливо установити розміщення анодних і катодних зон на трубопроводі. Дослідження характеру розподілення цього поля на поверхні землі вздовж осі трубопроводу, який обстежується з визначенням місцезнаходження анодних і катодних зон здійснюється проведенням вимірювань поперечного і продольного градієнту поля корозійного струму в ґрунті.

Вимірювання поперечного градієнту проводиться двохелектродною

установкою, методом послідовного переносу вздовж трубопроводу двох неполяризованих мідносльфатних електродів зрівняння, підключених до мілівольтметра. Один електрод встановлюється прямо над трубопроводом, на відстані 2 – 10 метрів від першого. Оптимальна віддаль між електродами, виходячи із місцевих умов, визначається експериментально. Інтервал між точками вимірювань (крок вимірювань) складає 2 – 6 м в залежності від ситуації на трубопроводі. Електроди підбираються таким чином, щоб різниця між ними не перевищувала 5 мВ. Визначення цієї різниці проводиться при установці обох електродів разом в сильно зволожений ґрунт мілівольтметром, яким виконується вимірювання градієнтів поля корозійних струмів. Різниця власних потенціалів електродів враховується в процесі вимірювань і контролюється через кожні 15 – 20 вимірювань. Результат зрівняння записується в електронний блокнот і враховується при визначенні градієнтів. При виконанні вимірювань електронними вольтметрами різницю своїх потенціалів електродів можливо компенсувати регулюванням установки електричного "нуля".

Вимірювання необхідно виконувати тільки високоомними приладами. При цьому необхідно враховувати, що стрілка мілівольтметра завжди відхиляється в сторону точки, яка має більш високий відємний потенціал трубопроводу, тобто точку, з якої струм витікає і в якій можливо корозійне зруйнування стінок трубопроводу.

Виходячи з досвіду, вимірювання потенціалу градієнтів поля корозійного струму прийнято за основний метод, а за допоміжний метод прийнято вимірювання продольного градієнту. Якщо результати вимірювань продольного й поперечного градієнту підтверджують один одного, це може бути основою для однозначної оцінки, а якщо є протиріччя, потрібно провести більш детальне вимірювання, попередньо перевіривши працездатність вимірювального приладу і значення власної різниці потенціалів електродів зрівняння. При цьому вимірювання поперечних градієнтів необхідно виконувати з двох сторін трубопроводу з відхиленням від осі трубопроводу на 2 – 6 метрів.

Значення питомого опору ґрунту при інших умовах характеризує опір

дільниці електричного ланцюга, по якому протікає струм корозійного елемента. Чим опір в даному ланцюзі буде менший, тим при одній різниці потенціалів корозійний струм буде більший, тим інтенсивніші будуть корозійні пошкодження. Різка зміна значення питомого електричного опору свідчить про можливість зміни видів ґрунту, який має різні фізико – хімічні властивості, що говорить про наявність умов для виникнення інтенсивної корозії.

Низькоомні ґрунти як правило менше аеруючі, мають більше розчинених солей, чим високоомні ґрунти. На дільницях низькоомних ґрунтів частіше створюються анодні зони. Катодні, відповідно, як правило, розміщуються в більш високоомних ґрунтах, які мають більш високу ступінь аерації і менше утримують вологи і солей.

Таким чином, по значенню питомого електричного опору ґрунтів, вимірних вздовж траси трубопроводу, можливо оцінити корозійну активність ґрунтів і виявити дільниці можливої роботи корозійного елемента – макропарі.

Крок вимірювання питомого електричного опору ґрунтів повинен бути не більше 100 метрів. В залежності від ґрунтових умов крок може бути зменшений з цілю визначення кордону розділення ґрунтів до 5 метрів.

Вимірювання питомого електричного опору вздовж трубопроводу може служити доброю основою для подальшого уточнення вимірювання методом градієнтів чи методом вимірювання значень природнього потенціалу вздовж трубопроводу.

2.3.3 Методи і схеми вимірювання

Оцінка стану газопроводу залежить від точності вимірювань і правильності застосування методів для даного газопроводу в реальних умовах і об'єктивного аналізу отриманих результатів вимірювань.

Різницю потенціалів “труба – земля” вимірюють при виявленні анодних і катодних зон, які викликані блукаючими струмами. Різницю потенціалів між окремими метелічними спорудами вимірюють з метою виявити можливість

утворення зон корозії.

Для вимірювання різниці потенціалів “труба – земля” застосовують високоомний вольтметр або потенціометр, підключений до трубопроводу і неполяризованого електроду. На підземних металічних трубопроводах вимірювання проводяться в колодках, в контрольно – вимірювальних пунктах або в шуфрах, які встановлюють на відстані приблизно 500 м один від одного (шуфри потрібні в тому випадку, коли на підземному трубопроводі не встановлені контрольно – вимірювальні пункти). Вимірювальний неполяризований електрод розміщують у лунці (глибиною 10 – 15 см), яку для кращого контакту зволожують [10].

Якщо в землі присутні блукаючі струми, різницю потенціалів “труба – земля” вимірюють високоомним вольтметром. Його встановлюють в горизонтальне положення і підрегулюють стрілку в нульове положення (нуль знаходиться посередині шкали). Потім до вольтметра приєднують проводи від неполяризованого електрода до клеми “плюс”, а від труби до клеми “мінус”. Перед включенням вольтметра у вимірювальний ланцюг перемикач діапазонів встановлюють на найбільший діапазон вимірювання. Якщо стрілка приладу відхиляється на невеликий кут, перемикач переключають на інший діапазон вимірювання – менший, ніж попередній, і т. д.

Відмічання показів вольтметра проводять на протязі 5 – 10 хв., а інколи і через кожні 15 – 20 с.

Результати вимірювань записують у журнал. При його заповненні необхідно відмічати положення перемикача діапазонів вимірювання, а також знаки вимірюваних величин.

За даними вимірювань визначають середнє значення додатніх і від’ємних потенціалів. Потім будують графік розподілення різниці потенціалів по всьому трубопроводу. На великих об’єктах потрібно проводити вимірювання одночасно в декількох пунктах.

Коли різниця потенціалів перевищує 3 В, неполяризований електрод можна замінити сталевим. При відсутності блукаючих струмів різницю потенціалів

“труба – земля” визначають по аналогічній схемі, але з застосуванням потенціометра. Так як різниця потенціалів в цьому випадку менше 3 В, застосування неполяризуючого електроду обов’язкове. При цьому у покази приладу входить і власний потенціал неполяризуючого електроду. Власний потенціал мідно – сульфатного неполяризуючого електроду $U_{н.е} = +0,34В$.

Конструкція мідно – сульфатного неполяризуючого електроду вказана на листі ДП.ПНК – 15.01.00.000 СК. В циліндричну ємність 4, яка виготовлена із органічного скла, вставляється стержень із червоної міді 3, у верхній частині якої знаходиться клема для під’єднання вимірювального проводу. Мідна трубка закріплюється в циліндрі або резиновою пробкою 6, або втулкою з різьбою. В нижній частині циліндра знаходиться дно із пористого матеріалу 2. Для зручності транспортування електрода нижня частина циліндра закривається ковпачком 1. Циліндр заповнюється насиченим розчином мідного купоросу.

Схема вимірювання різниці потенціалів “труба – земля” вказана на плакаті ДП.ПНК – 15.00.00.001 рис.1.

При використанні приладів з односторонньою шкалою, плюсова клема підключається до електрода порівняння, а від’ємна – до трубопроводу. При цьому потенціал трубопроводу реєструється з від’ємним знаком.

Перевірку полярності підключення діючої СКЗ до трубопроводу і анодного заземлення проводять шляхом вимірювання потенціалу “труба – земля” в точці дренажу в момент включення і виключення СКЗ. Якщо в момент включення виміряне значення стало більш від’ємним, а в момент виключення – стало менш від’ємним, то станція підключена до трубопроводу і анодного заземлення правильно, тобто клема плюс (+) під’єднана до анодного заземлення, а клема мінус (–) до трубопроводу.

Вимірювання різниці потенціалів “труба – земля” методом виносного електроду використовується котушка з проводом довжиною не більше 0,5 км. Початок котушки під’єднується до трубопроводу, а кінець – до плюсової клеми вольтметра, а мінусова клема вольтметра під’єднується до мідно – сульфатного електроду (див. рис. 2.3).

Вимірювання проводять до середини проміжку між КВП, після чого під'єднуємось до наступного КВП та починаємо вимірювання з місця, на якому закінчили вимірювання від попереднього КВП.

Вимірювання градієнта потенціалів електричного поля $\gamma - \delta$ в ґрунті. Розподіл електричного поля в ґрунті досліджується шляхом вимірювання градієнта потенціалів двохелектродною установкою, розміщеної перпендикулярно трубопроводу (поперечний метод) чи вздовж осі трубопроводу (повздовжній метод) (див рис. 2.4 і рис. 2.5).

При вимірюванні градієнта потенціалів поперечним методом один з вимірювальних електродів встановлюють безпосередньо над трубопроводом, і під'єднують до плюсової клеми вольтметра, а другий – перпендикулярно трубопроводу на віддалі $5 \div 10$ м.

Вимірювання питомого опору ґрунту визначається для оцінки характеристики ґрунтів та для використання отриманих результатів при розрахунку заземлень.

Питомий опір ґрунту можна вимірювати:

- з використанням чотирьох електродів, приладами МС – 08 або М – 416;
- з використанням трьох електродів, приладом М – 416.

Визначення питомого опору ґрунту проводиться за допомогою симетричної чотириелектродної схеми (див. плакат ДП.ПНК – 15.00.00.001 рис.3). Електроди розміщують на одній лінії, яка проходить перпендикулярно до трубопроводу.

Найближчий електрод встановлюється на віддалі 4 м від газопроводу.

За допомогою чотириелектродної схеми вимірюють середній питомий опір ґрунту на глибині, рівній віддалі між забитими електродами (а).

Середній питомий опір ґрунту визначається за формулою:

$$\rho = 6,28 \cdot a \cdot R,$$

(2.23)

де R – опір за показами приладу, Ом;

a – віддаль між електродами, м.

Глибина заглиблення електродів в ґрунт повинна бути не більше 1/20 віддалі між електродами (а).

Справність електричного виводу від трубопроводу (КВП) можна визначити за схемою рис. 2.6. Якщо вимірний опір менше 10 Ом, то вивід КВП справний і навпаки.

Вимірювання опору розтікання постійного струму анодного заземлення вимірюють приладами МС – 08, М – 416 за схемою представленою на рис. 2.7. По цій же схемі і тими ж приладами аналогічно проводяться вимірювання контура захисного заземлення обладнання [2].

Вимірювання значення струму трубопроводу контактним методом здійснюють по схемі рис. 2.8. Суть методу полягає в вимірюванні спаду напруги між двома точками трубопроводу, розташованих на віддалі 100 – 200 м один від одного.

Сила струму в трубопроводі визначається за формулою:

$$I = \frac{\Delta U}{R_m \cdot l \cdot 1000}, \quad (2.24)$$

де I – сила струму в трубопроводі, A ;

ΔU - вимірне значення спаду напруги на ділянці трубопроводу довжиною l , mV ;

R_m - повздовжній опір одного метра трубопроводу, Ω/m ;

l - віддаль між точками вимірювання, m .

Спад напруги вимірюється мілівольтметром.

Про напрям струму в трубопроводі судять за напрямом відхилення стрілки вимірювального приладу.

Вимірювання глибини залягання газопроводу і струму, що протікає в газопроводі проводиться безконтактним методом апаратурою БІТ – КВП.

Знаходження осі траси трубопроводу здійснюється за схемою див. плакат ДП.ПНК – 15.00.00.001 рис.2. Точне визначення осі трубопроводу проводиться за мінімумом звуку чи мінімальним показом стрілки приладу, для чого антену

розміщують перпендикулярно поверхні землі і переміщують поперек осі трубопроводу.

2.4 Установка комплексного обстеження

Для комплексного обстеження стану трубопроводу необхідно проводити контроль різноманітних параметрів, про які було описано вище. В даному розділі приведена структурна схема установки та описано конструкція та розрахунок основних параметрів одного з найбільш важливих блоків установки – блоку вимірювання напруги.

2.4.1 Структурна схема установки

Обстеження корозійного стану газопроводу проводиться польовою пересувною лабораторією електрохімзахисту (ПЕЛ – ЕХЗ), змонтованою та розміщеною в салоні кузова на шасі автомобіля КАМАЗ – 4310. Структурна схема установки подана на рисунку 2.9. Установка складається з приладів, які наведені нижче, і які входять в комплект ПЕЛ – ЕХЗ:

- 1) прилад комбінований цифровий 43312;
- 2) вольтметр універсальний В7 – 16;
- 3) вольтметр М – 231;
- 4) вимірювач опору заземлення Ф4103 – М1;
- 5) вимірювач опору заземлення М – 416;
- 6) апаратура безконтактних обстежень БІТ – КВП;
- 7) прилад пошуку металічних конструкцій ІМК – 4 (2 шт.).

Спеціальне обладнання, що використовується при проведенні корозійних обстежень, і яке входить в склад лабораторії ПЕЛ – ЕХЗ:

- агрегат бензоелектричний АБ – 2 – Т/230 М1 (Р = 2,0 кВт; U = 220 В, 50 Гц);
- дослідна станція катодного захисту (Р = 2,0 кВт; U = 50 В; I = 40 А);

- неполяризуючі мідносульфатні електроди (4 шт.), (різниця показів $U=1 \div 2$);
- батарея акумуляторна 6 СТ;
- кабель АВВГ 1х 50 (150 м);
- дослідні анодні заземлення (20 шт.);
- кабель АВВГ 1х 10, 20 × 4 м (20 шт.).

2.4.2 Розробка блоку вимірювання напруги

Для розробки даного блоку необхідно провести аналіз принципу роботи вимірювача напруги, розробити його конструкцію, принципову електричну схему та розрахувати параметри основних його вузлів.

2.4.2.1 Принцип роботи вимірювача напруги

В цифрових вимірювальних приладах обов'язково виконуються такі операції: квантування вимірюваної величини за рівнем; дискретизація її в часі; кодування інформації. Переваги цифрових вимірювальних приладів: зручність і об'єктивність відліку; висока точність результатів вимірювання; висока швидкодія, так як відсутні електромеханічні елементи; можливість автоматизації процесу вимірювання, включаючи автоматичний вибір полярності і діапазонів вимірювання; висока стійкість до зовнішніх механічних і магнітних впливів. Однак, цифрові прилади мають і недоліки: висока схемна складність; відносно висока вартість.

В залежності від способу перетворення цифрові вимірювальні прилади поділяються на прилади прямого і зрівноважуючого перетворення. В приладах першого виду відсутній загальний зворотній зв'язок. Вони мають високу швидкодію, але необхідна висока точність всіх вимірювальних перетворювачів. В приладах другого виду передбачений загальний зворотній зв'язок, який представляє собою цифро – аналоговий перетворювач вихідного дискретного

сигналу в компенсуючу величину однієї фізичної природи з вимірювальною величиною.

Принцип роботи даного вимірювача напруги прямої дії розгортаючого часового перетворення оснований на перетворенні вимірювальної напруги в інтервал часу, а потім в цифровий код. Часова діаграма роботи вимірювача напруги наведена на рисунку 2.10. Структурна схема приладу показана на листі ДП.ПНК – 15.00.00.000 Е1.

Напруга постійного чи змінного струму подається на вхідні гнізда. У вхідному пристрої 1 напруга постійного струму приводиться за допомогою подільника до номінальної межі 1В і далі надходить на вхід підсилювача диференціального (ПД) 2, напруга змінного струму приводиться до номінальної межі 1В і поступає на перетворювач напруги змінного струму в напругу постійного струму 6, а потім на вхід підсилювача диференціального.

Активний опір, який вимірюється, під'єднується до вхідних гнізд, які при вимірюванні є прямими входами підсилювача диференціального 2.

Вимірювання відбувається шляхом перетворення R_x в пропорційну напругу постійного струму U_x . Перетворення здійснюється підсилювачем диференціальним 2.

Підсилювач диференціальний 2 призначений для забезпечення високого вхідного опору приладу і перетворення величини вимірюваного опору в напругу.

Складається з двох підсилювачів, загальний коефіцієнт підсилення яких рівний двом.

Перший каскад, коефіцієнт підсилення якого рівний одиниці, призначений для перетворення вимірюваного опору в напругу, з цією метою на його виході автоматично встановлюється напруга плюс 1В, яка використовується як еталонна.

Другий каскад, разом з першим, забезпечує загальний коефіцієнт підсилення рівний двом, який необхідний при вимірюванні напруги.

Вихідна характеристика всього підсилювача зміщена таким чином, що вхідній постійній напрузі мінус 1В відповідає вихідна напруга 0В, вхідній

напрузі 0В відповідає вихідна напруга +2В, вхідній напрузі +1В відповідає вихідна напруга +4В.

Відповідне зміщення вихідної характеристики необхідне для створення умовного нуля, відносно якого в блоці компаратора 3 відбувається порівняння пилоподібної напруги з додатньою чи відємною напругою постійного струму.

Блок компаратора 3 складається з двох компараторів – сигнального і нульового, кожний з яких має два входи. На перші входи компараторів подається пилоподібна напруга з генератора пилоподібної напруги 7. Другий вхід нульового компаратора заземлений. Нульовий компаратор спрацьовує в момент рівності нульового потенціала (потенціал корпусу) з пилоподібною напругою.

Вихідна напруга підсилювача диференціального 2, яка зв'язана лінійно з величиною і знаком вимірюваної напруги, поступає на другий вхід сигнального компаратора.

Сигнальний компаратор спрацьовує в момент рівності вимірюваної і пилоподібної напруги.

Інтервал часу τ між моментами спрацювання компараторів пропорційний вимірюваній напрузі U_x .

Пристрій автоматики 12 формує імпульс тривалістю 20 мс або 2 мс, який відкриває логічний пристрій 4, імпульси з частотою 500 Гц і скважністю 10, які використовуються для управління роботою генератора пилоподібної напруги 7 і компараторів 3. Робота автоматики, а тому і робота приладу в цілому, синхронізується від мережі.

Сигнали з виходів компараторів поступають на логічний пристрій 4, на який також поступають лічильні імпульси від генератора лічильних імпульсів 8 ($f_0 = 11,6 \text{ МГц}$), і сигнал тривалістю 20 мс або 2 мс від пристрою автоматики.

На виході логічний пристрій формує послідовність радіоімпульсів (десять або один) тривалістю τ , які заповнені лічильними імпульсами.

Полярність постійної напруги визначається положенням тригера полярності індикатора полярності і перевантаженням 16, які залежать від стану лічильного блоку 5.

До подачі на вхід приладу вимірюваної напруги в лічильний блок поступає нульовий сигнал (пачки лічильних імпульсів умовного нуля), при цьому відбувається первинне перевантаження ємності лічильника. Сигнал перевантаження ємності лічильника встановлює тригер полярності в положення, при якому загоряється знак “+”.

При подачі на вхід приладу додатньої напруги відбувається вторинне заповнення ємності лічильника, в цьому випадку положення тригера полярності не змінюється і горить знак “+”.

При вимірюванні від’ємної напруги відбувається зменшення пачки лічильних імпульсів на величину, яка пропорційна вимірювальній напрузі, в цьому випадку ємність лічильника недозаповнюється і положення тригера полярності змінюється, загоряється знак “-”.

При переході на вимірювання напруги змінного струму загоряється знак “~”.

Перенавантаження визначається положенням тригера перегрузки індикатора полярності і перегрузки, яке залежить від черги спрацювання компараторів і наявності імпульса перегрузки лічильного блоку.

При перевищенні вимірювальною напругою межі вимірювання відбувається переповнення лічильного блоку і при цьому загоряється знак перегрузки “П”.

Після закінчення імпульса тривалістю 20 мс або 2 мс за час зворотнього ходу пилоподібної напруги в індикаторі полярності і перегрузки 16 формуються імпульси пам’яті, які призначені для перезапису інформації про лічильні тригери в тригери пам’яті, а також імпульс скидання, призначений для встановлення приладу у вихідне положення.

Тривалість циклу вимірювання визначається хронізатором 11 і може регулюватися в межах $0,1 \div 5$ секунд.

В приладі застосована стробоскопічна система індикації з послідовним загорянням індикаторних ламп синхронно з опитуванням відповідних розрядів. При цьому виключається можливість одночасного загоряння більш, ніж однієї

лампи.

Схема індикації складається із індикатора полярності і перегрузки 16, розподільювача 13, катодних дешифраторів 9(1), 9(2), вхідних і катодних ключів, вузла індикаторних ламп.

Індикатор полярності і перегрузки 16 призначений для визначення полярності вимірюваної напруги і перегрузки, управляє по черговим включенням катодних дешифраторів. Розподільювач 13 формує послідовність із 4 імпульсів, зміщених один відносно одного в часі, які поступають на управління ключами опитування декад і анодними ключами.

Ключі опитування декад К1 ÷ К4 зібрані на діодних схемах і призначені для видачі інформації про стан чотирьох розрядів декад в момент поступлення імпульса опитування з розподільювача.

Отримана таким чином інформація поступає на один із катодних дешифраторів 9(1) або 9(2), які перетворюють двійково – десятковий код 8 – 4 – 2 – 1 з виходу декади в десятковий код. Одноіменні катода індикаторних ламп з'єднані між собою.

Таким чином, поява імпульса на будь – якому із чотирьох виходів розподільювача приводить до появи імпульса на аноді відповідної лампи, а також імпульса на тій шині з'єднаних катодів ламп, які відповідають інформації декади.

Лампа загоряється, при чому світиться той катод, на шині якого присутній імпульс виходу розподільювача.

Поява наступного імпульса на виході розподільювача викликає включення наступної лампи, при чому світиться той катод, який відповідає інформації наступної декади і т. д.

В залежності від положення перемикача “РОД РАБОТЫ” на табло ідентифікується відповідно розмірність “mV”, “V”, “Ω”, “kΩ”, “MΩ”. При встановленні нуля приладу вхід ПД заземляється, а при калібруванню на вхід ПД подається напруга від блоку калібрувальної напруги 10.

Блок живлення 15 виробляє ряд напруг, необхідних для живлення всіх

вузлів приладу.

2.4.2.2 Будова вимірювача напруги

Прилад конструктивно складається з наступних основних вузлів:

- а) корпусу;
- б) дільника;
- в) базового блоку;
- г) блоку живлення.

Конструкція корпусу типова. Розміри по передній рамі і глибині $300 \times 1400 \times 360$ мм. Конструкція корпусу представляє собою передню і задню литі несучі рами із алюмінієвих сплавів, з'єднаних між собою двома стяжками із профільного алюмінієвого прокату. До рам кріпляться пердняя і задня панелі приладу. Зверху і знизу каркас закривається П – подібними кришками. Для підтримання необхідного теплового режиму і забезпечення природної вентиляції в кришках передбачені перфоровані отвори [21].

Корпус має П – подібну ручку для переносу, яка кріпиться до бокових стяжок за допомогою спеціальних пристроїв – фіксаторів. Ручка одночасно служить підставкою для установки приладу під різними кутами. Корпус також має 4 опорні ножки – амортизатори, які кріпляться до нижньої кришки. Для установки приладу при переносі у вертикальне положення на задній панелі передбачені 4 ножки – підставки, висота яких вибрана таким чином, щоб не пошкодити зовнішні установчі елементи на передній панелі. Ручки управління на передній панелі і ножки – підставки на задній збільшують розмір по глибині приладу до 425 мм.

Перетворювач напруги розміщується в прямокутній коробці і кріпиться до бокових стінок корпусу приладу за допомогою болтів. Електричне з'єднання перетворювача в приладі виконується розпайкою проводів жгута, який виходить із блоку.

На передній панелі приладу знаходяться органи управління, які мають

відповідні надписи, і скло для відрахунку пказів цифрових ламп, які встановлені на платі за передньою панеллю (ДП.ПНК – 15.01.01.000 СК). За перетворювачем на кутниках встановлюється плата з роз'ємами для встановлення 9 плат основної схеми. Плати за допомогою закріплених на них кутниках кріпляться зверху до квадратних брусів. Плати, які легко можна зняти, і плата індикації, яка може повертатися, забезпечують доступ до всіх елементів і створюють зручності при наладці і ремонті приладу.

Блок живлення розташований в задній частині приладу. Для зручності зборки, регулювання і ремонту блок зроблений висувним. Висувається блок зі сторони задньої панелі. Каркас блоку живлення створює задня панель і П – подібна скоба. На невеликому шасі і двох кутниках, які з'єднують скобу і панель, розташовані блок калібровочної напруги і плата формувача. На великій скобі знаходяться електролітичні конденсатори фільтра і два роз'єми, які з'єднують блок живлення з базовим блоком.

На задній панелі встановлені силовий трансформатор, потужні транзистори, які закриті кришкою, контрольні гнізда, роз'єм для мережі, тумблери, предохранитель, зажим захисного заземлення; лічильники часу роботи приладу і роз'єм “ВЫХОД НА ЦППМ”. Всі незакриті кришкою елементи мають відповідні написи. Більша частина схеми блоку живлення зібрана на платі, яка як і дно блока, займає всю площу знизу. Для забезпечення доступу до всіх елементів плата зроблена відкидною. Два кутника, які прикріплені до бокових сторін скоби, служать направляючими, за допомогою яких блок всувається і кріпиться до квадратних брусів, які розміщені на бокових стяжках приладу.

2.4.2.3 Опис принципової електричної схеми вимірювача напруги

В схему перетворювача напруги входять:

- подільник напруги постійного струму;
- подільник напруги змінного струму;
- перетворювач напруги змінного струму в напругу постійного струму.

Подільник напруги постійного струму зібраний на резисторах. Для зменшення наводок резистори подільника зашунтовані конденсаторами.

Перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму здійснюється лінійним детектором, виконаним по принципу операційного підсилювача з нелінійним від'ємним зв'язком.

З подільника напруги сигнал поступає на вхід витокового повторювача з наступним зворотнім зв'язком. Повторювач забезпечує високий вхідний опір і подає сигнал на неінвертований вхід операційного підсилювача.

Підсилювач диференціальний (ПД) призначений для забезпечення високого вхідного опору приладу і для перетворення величини вимірювальних опорів в пропорційну напругу.

ПД складається з вхідного витокового повторювача і двох диференціальних підсилювачів в інтегральному виконанні на мікросхемах. Коефіцієнт передачі підсилювача вибраний рівним 2, тому при вхідній напрузі +1 В напруга на виході підсилювача диференціального буде точно рівна +2 В.

Компаратори призначені для порівняння вимірюваної і нульової напруги з лінійнозростаючою і для формування стрибків напруги з крутим фронтом в момент їх рівності.

Схема компараторів складається:

- генератор лінійнозростаючої напруги;
- сигнальний компаратор;
- нульовий компаратор.

Сигнальний компаратор представляє собою диференціальний підсилювач, у якого на перший вхід подається лінійнозростаюча напруга, а на другий вхід подається вимірювана напруга. В момент рівності напруг спрацьовує триггер, на виході якого формується скачок напруги з крутим фронтом.

Нульовий компаратор зібраний по принципу сигнального. В нульовому компараторі відбувається порівняння пилоподібної напруги з нульовим потенціалом. В момент рівності напруг спрацьовує триггер, на виході якого формується скачок напруги.

Блок автоматики призначений для управління роботою приладу синхронно з частотою мережі живлення.

Схема автоматики містить:

- мультівібратор з триггером – повторювачем;
- схему синхронізації мультівібратора з частотою мережі;
- схему формування імпульсів тривалістю 20 мс або 2 мс.

Формувач імпульсів тривалістю 20 мс або 2 мс з періодом повторення $0,1 \div 5$ с (час індикації) призначений для управління роботою логічного пристрою і індикатора полярності, а також для видачі імпульса циклу на цифропечатний механізм (ЦПМ).

Розподілювач призначений для формування імпульсів опитування декад і імпульсів управління анодними ключами.

Індикатор полярності, перевантажень призначений для:

- визначення полярності і перевантаження вимірюваної напруги;
- формування імпульса пам'яті;
- формування імпульса скидання декад.

Схема індикатора складається з:

- визначник знаку;
- визначник перевантаження;
- формувач імпульса скидання;
- формувач імпульса пам'яті.

Схема визначника знаку містить:

- триггер знака;
- триггер пам'яті знака;
- ключі знака;
- ключі знака.

Схема визначника перевантаження вміщує:

- логічну схему формування імпульса перевантаження;
- триггер перевантаження;

- триггер пам'яті перевантаження.

Схема формування імпульса скидання і пам'яті містить:

- логічну схему;
- одновібратор;
- емітерний повторювач;
- мультівібратор.

Пристрій логічний призначений для формування пачок лічильних імпульсів при часі перетворення 20 мс – 10 пачок, при часі перетворення 2 мс – 1 пачка.

Пристрій логічний складається з:

- генератора лічильних імпульсів, стабілізованого кварцевим резонатором;
- подільника частоти на 8, зібраного на трьох триггерах;
- формувача пачок лічильних імпульсів.

Подільник призначений для ділення частоти 1,5 МГц на 10, яка поступає з пристроєм логічного, запам'ятовування інформації з видачею на її вихід. Подільник містить декадну перерахувальну схему, чотири тригери пам'яті і схему співпадання.

Подільник призначений для перерахування лічильних імпульсів на 10, запам'ятовуючи інформацію в двійково – десятковому коді і її видачі. Подільник містить декадну перерахувальну схему, 4 тригери пам'яті і схеми співпадання.

Подільник декадний з пам'яттю по принципу роботи і по конструкції аналогічний подільнику декадному.

Блок індикації містить:

- чотири анодних ключа;
- два дешифратори;
- чотири індикаторних лампи типу ИН – 14;
- індикаторну лампу типу ИН – 19А;
- індикаторну лампу типу ИН – 19Б;
- індикаторну лампу типу ИН – 19В;
- чотири ключа включення: знак перевантаження “П”, знак “+”, “-”, “~”;

- хронізатор;
- ключ шунтування анодного живлення лампи Л4;
- подільник напруги +200 В, +130 В, +100 В.

Анодні ключі призначені для подачі живлячої імпульсної напруги на аноди індикаторних ламп ИН – 14.

Додатні імпульси (амплітудою +70 В) на рівні +130 В поступають на аноди ламп.

Дешифратор призначений для перетворення сигналів, які поступають з декадних подільників в двійково – десятковому коді 8 – 4 – 2 – 1 в сигнали десяткового коду. Сигнали з виходу дешифратора поступають в катоди індикаторних ламп.

Хронізатор представляє собою мультивібратор, який виробляє від'ємні імпульси з періодом 0,1 – 5 с, призначені для управління часу індикації.

В блоці живлення розміщені випрямлячі, згладжуючі фільтри і стабілізатори, які забезпечують необхідними напругами схему приладу. В блоці живлення також розміщений блок калібровочної напруги (БКН), який забезпечує на виході високостабільну напругу для калібрування приладу.

Живлення блоку може здійснюватися від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц або від мережі напругою 115 В, 220 В частотою 400 Гц.

Елементи, які входять в блок живлення, зображені на схемі електричній принциповій лист ДП.ПНК – 15.01.02.000 Е3.

Напруга мережі подається в блок через роз'єм Ш2 “СЕТЬ”, а потім через запобіжник Пр і роз'єм Ш3 поступає на тумблер “СЕТЬ”, який розміщений на лицевій панелі приладу. За допомогою цього тумблера здійснюється включення блоку живлення і всього приладу вцілому. Після встановлення його у включене положення напруга мережі через роз'єм Ш3 знову поступає у блок живлення на перемикач мережі В1 і потім на первинну обмотку трансформатора Тр. Перемикач В1 “115 В – 220 В” блоку здійснює перемикання первинної обмотки трансформатора в залежності від величини напруги мережі.

До вторинних обмоток трансформатора Тр під'єднані джерела живлення.

Принцип роботи всіх стабілізованих джерел ідентичний: змінна напруга, яка знімається з відповідної вторинної обмотки трансформатора, випрямляється, потім згладжується ємнісним фільтром і стабілізується за допомогою компенсаційного стабілізатора напруги. Всі стабілізатори зроблені по схемі напівпровідникового стабілізатора напруги з послідовно включеним регулюючим елементом.

Елементи випрямлячів, стабілізаторів і згладжуючих фільтрів розміщені на платі. Не на платі знаходяться регулюючі елементи стабілізаторів (транзистори Т1, Т2, Т3, Т4), фільтри джерел +12,6 В (С1), мінус 4 В (С2), +5 В (С3), +200 В (С24) і випрямляючі діоди Д1, Д2 системи підігріву термостата БКН.

БКН виконаний у вигляді окремого вузла і розміщений у активному термостаті.

Джерело мінус 12,6 В отримує живлення від обмотки 10 – 11 трансформатора Тр. Напруга, яка знімається з цієї обмотки, випрямляється за допомогою діодів Д1 ÷ Д4 (по мостовій схемі), згладжується конденсатором С1 і поступає на вхід компенсаційного стабілізатора напруги, регулюючий елемент якого включений послідовно з навантаженням. В склад регулюючого елемента стабілізатора входять транзистори Т1 (П216В), Т2, Т3, включені по схемі складеного транзистора. На транзисторі Т4 зібраний підсилювач постійного струму. Живлення колекторного ланцюга транзистора Т4 здійснюється з виходу випрямляча через стабілізатор струму, в склад якого входить транзистор Т1, стабілітрони Д5, Д6, включені в прямому ході, резистори R1 і R2. Джерелом опорної напруги є стабілітрон Д7 (параметричний стабілізатор напруги). В якості вимірювального елемента на виході стабілізатора включений подільник з резисторів R6, R7, R8 з температурною компенсацією струму на стабілітроні Д8. Для неможливості самозбудження стабілізатора між колектором і базою підсилювача постійного струму (Т4) включений конденсатор С2, а на виході стабілізатора включений конденсатор С3.

Номінальна величина вихідної напруги стабілізатора встановлюється за

допомогою змінного резистора R7.

Крім живлення відповідних ланцюгів приладу, джерело мінус 12,6 В здійснює допоміжну функцію: живлячи колекторні ланцюги підсилювачів постійного струму стабілізаторів +12,6 В, мінус 4 В і +5 В.

Джерело +12,6 В зібраний по схемі, аналогічній джерелу мінус 12,6 В, за виключенням того, що в схемі відсутній стабілізатор струму для живлення колекторного ланцюга підсилювача постійного струму на транзисторі T7.

Живлення на стабілізатор подається від обмотки 12 – 13 трансформатора Tr через випрямляч по мостовій схемі на діодах Д9 ÷ Д12 і згладжуючий конденсатор С1. Номінальна величина вихідної напруги стабілізатора виставляється за допомогою змінного резистора R4. Крім живлення відповідних ланцюгів приладу, це джерело здійснює живлення джерел опорної напруги стабілізаторів мінус 4 В і +5 В.

Джерела мінус 4 В і +5 В абсолютно ідентичні за будовою. Вони отримують живлення відповідно від обмоток 14 – 15 і 16 – 17 трансформатора Tr. Змінні напруги випрямляються за допомогою мостових схем випрямлячів на діодах Д15 ÷ Д18 і Д20 ÷ Д23, згладжуються конденсаторами С2, С3 і стабілізуються. Регулюючими елементами стабілізаторів є відповідно: транзистор Т3 (П216В), Т8, Т9 і Т4 (П216В), Т11, Т12, зібраних по схемі складеного транзистора. Елементами підсилювачів постійного струму стабілізаторів є транзистори Т10 і Т13, колекторні ланцюги яких живляться від джерел мінус 12,6 В через резистори R16 і R21. Вимірювальні елементи і джерела опорної напруги стабілізаторів (R19, R20, Д 19 і R24, R25, Д24) живляться від джерела +12,6 В.

Номінальні величини вихідних напруг стабілізаторів виставляються за допомогою змінних резисторів R19 і R24.

Джерело +200 В призначене для живлення анодних і катодних ключів блоку індикації приладу.

Джерело +200 В отримує живлення від обмоток 18 – 20 з середньою точкою (19). Змінна напруга випрямляється випрямлячем по 2 – півперіодній

схемі на діодах Д25, Д26, згладжується RC фільтром R26, С4. номінальна величина напруги +200 В підбирається за допомогою регулюючого резистора R26*.

Джерело +8 В отримує живлення від обмотки 21 – 22 трансформатора Тр. Змінна напруга випрямляється по мостовій схемі на діодах Д27 ÷ Д30, згладжується конденсатором С11 і подається в схему.

В блоці живлення розміщений блок подільника на 4, призначений для синхронізації роботи схеми приладу частотою мережі 115, 220 В 400Гц.

Перемикач В2, розміщений на задній панелі блока живлення, в залежності від частоти мережі встановлюється в положення “50 Hz або 400 Hz”.

В положенні “400 Hz” змінна напруга з обмотки 7 – 9 трансформатора Тр поступає на схему обмеження на діодах Д1 ÷ Д4 і резисторах R1, R2 і далі через перемикач В2 на роздільний запуск мікросхеми Мс1.

Мікросхема Мс1 формує прямокутні імпульси з крутим фронтом з частотою 400 Гц, які поступають на подільник (мікросхема Мс2, Мс3) з загальним коефіцієнтом ділення 4. На виході подільника отримуються прямокутні імпульси частотою 100 Гц, які поступають на синхронізацію автоматики.

Блок живлення з'єднаний з приладом за допомогою роз'ємів Ш1, Ш3.

Блок калібровочної напруги (БКН) має наступні технічні характеристики:

- рівень напруги – $9,1 \pm 0,5$ В;
- зміна напруги за 2000 годин – на більше ± 2 мВ;
- рівень пульсації і шумів – не більше 500 мкВ;
- нестабільність напруги від зміни напруги мережі живлення на ± 10 % - не більше $\pm 0,005$ %.

Елементи, які входять в склад БКН, зображені на схемі електричній принциповій. При побудові джерела калібровочної напруги використана мостова вимірювальна схема, яка складається з двох стабілітронів Д1, Д2, двох транзисторів ПП1, ПП2 і трьох резисторів R1, R2, R3.

Робота моста цієї схеми основана на тому, що один із стабілітронів

стабілізує напругу зміщення бази одного із транзисторів, а колекторний струм цього транзистора, який працює в режимі стабілізації струму, протікає через другий стабілітрон.

В якості калібровочної напруги використовують напругу стабілітрона Д1.

Мостова схема живиться від попереднього каскаду стабілізації на трьох стабілітронах Д7 ÷ Д9.

Стабілітрони отримують живлення від випрямляча, зібраного по мостовій схемі на діодах Д3 ÷ Д6 типу 2Д102А. Конденсатор С2 згладжує пульсації випрямленої напруги. Випрямляч підключений до обмотки 5 – 6 трансформатора Тр блока живлення.

Для підвищення стабільності напруги при зміні температури навколишнього середовища мостова схема БКН поміщена в термостат.

Температура термостатування $+60^{\circ}\text{C}$ підтримується за допомогою термобіметалевого реле Р.

Для зменшення величини комутуючого струму через контакти реле застосований підсилювач струму на транзисторі ПП1 типу П214А, в ланцюг емітера якого включений нагрівач R. Нагрівач виконаний у вигляді обмотки, намотаної на стакані, всередині якого розміщена мостова схема БКН. Паралельно контактам реле Р включена іскропогашуючий ланцюг (С1, R4).

Нагрівач отримує живлення від випрямляча, зібраного на двохпівперіодній схемі з середньою точкою, в склад якого входять діоди Д1, Д2. Випрямляч підключений до обмотки 7 – 8 – 9 трансформатора Тр1 блока живлення.

Схема, в склад якої входять діоди Д1, Д2, резистори R1 ÷ R3, забезпечує надійну роботу схеми терморегулювання при підвищеній температурі навколишнього середовища.

2.4.2.4 Розрахунок елементів стабілізатора

Розрахуємо транзисторний стабілізатор напруги компенсаційного типу (див. рис. 2.11) по наступним вихідним даним:

- номінальна вхідна напруга стабілізатора $U_{вих} = 12,6 \pm 0,05 \text{ В}$;

- номінальний струм навантаження $I_{вих} = 0,14 \pm 0,015 \text{ A}$;

- допустиме відхилення напруги на вході стабілізатора від номінального значення в сторону збільшення ($a_{вх}$) і в сторону зменшення ($b_{вх}$) становить $a_{вх} = b_{вх} = \pm 10\%$;

- допустиме відхилення вихідної напруги від номінальної

$$a_{вих} = b_{вих} = \pm 0,01 \%$$

В результаті розрахунку необхідно визначити тип транзисторів і стабілітрона, величини всіх деталей, які входять у схему стабілізатора і забезпечити заданий режим його роботи, необхідну величину вхідної напруги, коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі і коефіцієнт корисної дії стабілізатора [17].

1) Визначаємо необхідне значення коефіцієнта стабілізації за формулою:

$$K_{ст.необ.} = \frac{a_{вх} + b_{вх}}{a_{вих} + b_{вих}} = \frac{10 + 10}{0,01 + 0,01} = 1000. \quad (2.25)$$

2) Знаходимо величину мінімальної напруги на вході стабілізатора:

$$U_{вх.мін.} = U_{вих} + U_{к.е3.мін.} + \Delta U_{вих}, \quad (2.26)$$

де $U_{к.е3.мін.}$ - мінімальна допустима напруга між емітером і колектором регулюючого транзистора, при якій робота ще відбувається на лінійній частині вихідної характеристики $I_K = f(U_{к.е.})$ при $I_{\sigma} = const$;

$\Delta U_{вих}$ - відхилення напруги на виході стабілізатора від номінальної.

Напруга $U_{к.е3.мін.}$ для більшості транзисторів не перевищує $1 - 3 \text{ В}$. При розрахунку $U_{к.е3.мін.}$ можна приймати рівною 3 В . Величини напруги $\Delta U_{вих}$ для нашого прикладу визначається верхньою межею регулювання вихідної напруги, тобто $\Delta U_{вих} = 0,05 \text{ В}$. Таким чином:

$$U_{вх.мін.} = 12,6 + 3 + 0,05 = 15,7 \text{ В}. \quad (2.27)$$

Номінальна і максимальна напруги на вході стабілізатора з врахуванням

допустимих відхилень вхідної напруги $a_{вх} = b_{вх} = \pm 10\%$ відповідно рівні:

$$U_{вх} = \frac{U_{вх.мін.}}{\left(1 - \frac{b_{вх}}{100}\right)} = \frac{15,7}{\left(1 - \frac{10}{100}\right)} = 17,4В, \quad (2.28)$$

$$U_{вх.макс.} = U_{вх} \cdot \left(1 + \frac{a_{вх}}{100}\right) = 17,4 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 19,14В. \quad (2.29)$$

3) Визначаємо максимальний спад напруги на ділянці емітер – колектор регулюючого транзистора:

$$U_{к.еЗ.макс.} = U_{вх.макс.} - U_{вих} = 19,14 - 10 = 9,14В. \quad (2.30)$$

4) Знаходимо максимальну потужність, яка розсіюється на колекторі регулюючого транзистора:

$$P_{кЗ.макс.} = U_{к.еЗ.макс.} \cdot I_{вих.макс.}, \quad (2.31)$$

де $I_{вих.макс.}$ - максимальне значення струму навантаження.

Для нашого прикладу (при незмінному струмі навантаження):

$$I_{вих.макс.} = I_{вих} = 0,14 А. \quad (2.32)$$

Тому,

$$P_{кЗ.макс.} = 9,14 \cdot 0,14 = 1,3Вт. \quad (2.33)$$

5) Вибираємо тип регулюючого транзистора. При виборі необхідно виконати умови:

$$I_{кЗ.макс.} \approx I_{вих} \leq I_{кЗ.макс.доп.}; \quad (2.34)$$

$$U_{к.еЗ.макс.} \leq U_{к.еЗ.макс.доп.}; \quad (2.35)$$

$$P_{кЗ.макс.} \leq P_{кЗ.макс.доп.} \quad (2.36)$$

Користуючись таблицею 6 [17], вибираємо транзистор ТЗ типу 1Т403Б з такими параметрами:

- коефіцієнт підсилення по струму $B_3 = 20$;

- максимально допустима напруга колектор – емітер $U_{к.е3.макс.доп.} = 30$ В;
- максимально допустимий струм колектора $I_{к3.макс.доп.} = 1,25$ А;
- максимальна допустима потужність, яка розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідводу) $P_{к3.макс.доп.} = 4$ Вт.

$$I_{к3.макс.} = 0,14A \leq I_{к3.макс.доп.} = 1,25A; \quad (2.37)$$

$$U_{к.е3.макс.} = 9,14B \leq U_{к.е3.макс.доп.} = 30B; \quad (2.38)$$

$$P_{к3.макс.} = 1,3Вт \leq P_{к3.макс.доп.} = 4Вт. \quad (2.39)$$

Таким чином, для вибраного транзистора умови виконуються.

б) Вибираємо тип узгоджуючого транзистора Т1. Транзистор Т1 призначений для узгодження великого вихідного опору (порядку 10 кОм) підсилювача постійного струму, зібраного на транзисторі Т5, з малим вхідним опором (порядку 10 Ом) регулюючого транзистора Т3.

Крім того, транзистори Т1 і Т3, створюючи складений транзистор, мають загальний коефіцієнт підсилення по струму:

$$B_{заг.} = B_1 \cdot B_3, \quad (2.40)$$

де B_1 і B_3 - коефіцієнти підсилення по струму транзисторів Т1 і Т3.

Великий коефіцієнт підсилення по струму $B_{заг.}$ дозволяє значно підвищити коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі.

Приймаючи, що

$$I_{к1} \approx I_{e1} = I_{б3}, \quad (2.41)$$

де $I_{к1}$ і I_{e1} - струми колектора і емітера транзистора Т1;

$I_{б3}$ - струм бази транзистора Т3.

І враховуючи, що

$$I_{б3} \approx \frac{I_{к3}}{B_3} \approx \frac{I_{вих}}{B_3} = \frac{200}{20} = 10mA. \quad (2.42)$$

Отримаємо

$$I_{к1} \approx 10 \text{ мА.} \quad (2.43)$$

Крім того,

$$U_{к.е1.макс.} \approx U_{к.е3.макс.} = 9,14 \text{ В.} \quad (2.44)$$

Таким чином, потужність, яка розсіюється на колекторі транзистора Т1 рівна:

$$P_{к1.макс.} \approx U_{к.е1.макс.} \cdot I_{к1} = 9,14 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ Вт.} \quad (2.45)$$

По таблиці 6 [17] вибираємо транзистор Т1 типу МП16А з параметрами:

- коефіцієнт підсилення по струму $B_1 = 30$;

- максимально допустима напруга колектор – емітер $U_{к.е1.макс.доп.} = 15$

В;

- максимально допустимий струм колектора $I_{к1.макс.доп.} = 100 \text{ мА}$;

- максимальна допустима потужність, яка розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідвуду) $P_{к1.макс.доп.} = 200 \text{ мВт}$.

Оскільки, $P_{к1.макс.} = 0,09 \text{ Вт} \leq P_{к1.макс.доп.} = 200 \text{ мВт}$, то транзистор Т1 вибраний правильно.

7) Вибираємо тип кремнієвого стабілізатора. В якості джерела еталонної напруги звичайно використовують кремнієвий стабітрон, який повинен мати номінальну напругу стабілізації:

$$U_{ст.} \approx (0,6 \div 0,7) \cdot U_{вих} = (0,6 \div 0,7) \cdot 12,6 = 7,56 \div 8,82 \text{ В.} \quad (2.46)$$

По таблиці 9 [17] вибираємо стабілітрон типу Д814А, у якого

$$U_{ст.} = U_{ет.} = 11,5 \text{ В}; I_{ст.} = 20 \text{ мА}; I_{ст.макс.} = 50 \text{ мА.} \quad (2.47)$$

8) Знаходимо коефіцієнт ділення напруги подільником R17, R18, R19:

$$\alpha = \frac{U_{8вих}}{U_{вих}} \approx \frac{U_{ст.}}{U_{вих}} = \frac{11,5}{12,6} = 0,9. \quad (2.48)$$

9) Вибираємо тип управляючого (підсилюючого) транзистора Т5. На транзисторі Т5 зібраний підсилювач, який повинен реагувати на самі незначні коливання вихідної напруги і підсилювати їх до величини, яка достатня для

управління регулюючим транзистором. Тому управляючий транзистор повинен забезпечувати достатнє підсилення сигналу по напрузі. При виборі транзистора потрібно звернути увагу на величину колекторного струму $I_{к5}$. Цей струм повинен бути, по можливості, невеликим, але завжди перевищувати струм бази узгоджуючого транзистора Т1.

Звичайно величина струму $I_{к5}$ вибирається в межах $0,5 \div 2$ мА. Необхідне значення коефіцієнта підсилення по напрузі для управляючого транзистора можна знайти за формулою:

$$K_{5(U)необ.} = \frac{\Delta U_{вх} \cdot 100}{U_{вих} \cdot (a_{вих} + b_{вих}) \cdot \alpha}, \quad (2.49)$$

$$\text{де } \Delta U_{вх} = U_{вх.макс.} - U_{вх.мін.} = 19,14 - 15,7 = 3,44В.$$

Отримаємо,

$$K_{5(U)необ.} = \frac{3,44 \cdot 100}{12,6 \cdot 0,02 \cdot 0,9} = 152. \quad (2.50)$$

Найбільш в якості управляючих використовують малопотужні низькочастотні транзистори (таблиця 12, [17]).

Попередньо вибираємо транзистор Т5 типу 2Т203А з такими даними:

- коефіцієнт підсилення по струму $B_5 = 30$;
- максимально допустима напруга колектор – емітер $U_{к.е5.макс.доп.} = 60$ В;
- максимально допустимий струм колектора $I_{к5.макс.доп.} = 10$ мА;
- максимальна допустима потужність, яка розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідвдуду) $P_{к5.макс.доп.} = 150$ мВт.

Визначаємо фактичний коефіцієнт підсилення каскаду на транзисторі 2Т203А. Для цього можна використати формулу:

$$K_{5(U)розр.} = \frac{\Delta I_{к5}}{\Delta U_{б.е5}} \cdot R_1, \quad (2.51)$$

де $\frac{\Delta I_{к5}}{\Delta U_{б.е5}} = S_5$ - крутизна характеристики транзистора Т5 (число, яке

показує на скільки міліампер зміниться колекторний струм при зміні напруги між базою і емітером транзистора на 1 В);

R_I - опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора Т5.

Для малопотужних низькочастотних транзисторів, які використовуються в схемах стабілізаторів напруги, значення крутизни лежить в межах:

$$S_5 = (20 \div 40) \frac{mA}{V}. \quad (2.52)$$

Приймаємо, $S_5 = 30 \frac{mA}{V}$.

Опір R_I можна знайти за формулою:

$$R_I = \frac{0,5 \cdot U_{к.е3.мін.} \cdot B_1 \cdot B_3}{I_{вих}} = \frac{0,5 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 30}{0,14} = 6429 \text{ Ом}. \quad (2.53)$$

У відповідності з таблицею 7 [17], приймаємо $R_I = 6,8 \text{ кОм}$. Потужність, яка розсіюється на резисторі R_I , становить:

$$P_{R_I} \approx (I_{к5})^2 \cdot R_I = (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 6,8 \cdot 10^3 = 0,0272 \text{ Вт}. \quad (2.54)$$

В якості опору R_I можна використати резистор типу МЛТ-0,25-6,8 кОм±10%.

Таким чином,

$$K_{5(U)розр.} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 6,8 \cdot 10^3 = 204 > K_{5(U)необ.} = 152. \quad (2.55)$$

Визначаємо величину потужності, яка розсіюється на колекторі транзистора Т5:

$$P_{к5.макс.} = U_{к.е5.макс.} \cdot I_{к5}. \quad (2.56)$$

Приймаючи, що

$$U_{к.е5.макс.} = U_{вих} + \Delta U_{вих} - U_{ем} = 12,6 + 0,05 - 11,5 = 1,15 \text{ В}. \quad (2.57)$$

Отримаємо,

$$P_{к5.макс.} = 1,15 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ мВт} < P_{к5.макс.доп.} = 150 \text{ мВт}. \quad (2.58)$$

Відповідно, транзистор Т5 вибрано правильно.

10) Визначаємо величини опорів резисторів і ємностей конденсаторів схеми. Як уже відомо, що опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора Т5 $R1 = 6,8 \text{ кОм}$. Знайдемо опір вихідного подільника. Струм подільника I_n звичайно вибирають на 1 – 2 порядки вище струму бази управляючого транзистора Т5. Номінальний струм бази транзистора Т5 можна знайти за формулою:

$$I_{б5} = \frac{I_{к5}}{B_5} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{30} = 0,07 \text{ мА}. \quad (2.59)$$

Вибираємо струм подільника $I_n = 5 \text{ мА}$. Знайдемо загальний опір подільника:

$$R_n = R_{17} + R_{18} + R_{19} = \frac{U_{вих}}{I_n} = \frac{12,6}{5 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм}. \quad (2.60)$$

У відповідності з завданням напруга стабілізатора повинна регулюватися в межах $\pm 0,05 \text{ В}$. Враховуючи також, що напруга стабілізації стабілітрона Д814А може змінюватися в межах $7,56 \div 8,82 \text{ В}$, визначимо опір нижнього плеча подільника для крайніх значень $U_{ет.}$ і $U_{вих}$:

$$(R_{н.н})_{\min} = R_n \cdot \frac{U_{ет. \min}}{U_{вих} + \Delta U_{вих}} = R_{19} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \cdot 7,56}{12,6 + 0,05} = 1,4 \text{ кОм}; \quad (2.61)$$

$$(R_{н.н})_{\max} = R_n \cdot \frac{U_{ет. \max}}{U_{вих} - \Delta U_{вих}} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \cdot 8,82}{12,6 - 0,05} = 1,7 \text{ кОм}. \quad (2.62)$$

Величини опорів R17 і R18 рівні:

$$R_{18} = (R_{н.н})_{\max} - (R_{н.н})_{\min} = 1,7 - 1,4 = 0,3 \text{ кОм}; \quad (2.63)$$

$$R_{17} = R_n - (R_{н.н})_{\max} = 2,4 \cdot 10^3 - 1,7 \cdot 10^3 = 0,7 \text{ кОм}. \quad (2.64)$$

Отримані значення опорів подільника відповідають номінальним (див. табл. 7, [17]). Тому остаточно приймаємо, що $R17 = 820 \text{ Ом}$, $R18 = 3,3 \text{ кОм}$, $R19 = 680 \text{ Ом}$ (тип резисторів R17 і R19 – МЛТ – 0,25, а R18 – СП5 – 2). Опір R3 береться такої величини, щоб заданий ним струм через стабілітрон становив

$I_{cm} = 5 \text{ мА}$:

$$R_3 = \frac{U_{вих} - U_{em}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{12,6 - 11,5}{5 \cdot 10^{-3}} = 220 \text{ Ом.} \quad (2.65)$$

По таблиці 7 [17], вибираємо резистор з опором $R_3 = 3,9 \text{ кОм}$ (тип резистора – МЛТ – 0,25).

Конденсатор C_7 служить для підвищення стійкості стабілізатора і одночасно дозволяє зменшити вихідний опір схеми. Ємність конденсатора C_7 вибирають в межах 500 – 1000 мкФ. Для нашого прикладу можна вибрати конденсатор типу К50 – 6 ємністю 500 мкФ з робочою напругою 6 В (табл. 4 [17]).

11) Коефіцієнт корисної дії стабілізатора в номінальному режимі знаходимо за формулою:

$$\eta = \frac{U_{вих} \cdot I_{вих}}{U_{вх} \cdot I_{вх}}, \quad (2.66)$$

де $I_{вх} = I_{вих} + I_{cm} + I_n = 0,14 + 11,5 + 5 \cdot 10^{-3} = 11,6 \text{ А}$.

Таким чином:

$$\eta = \frac{12,6 \cdot 0,14}{17,4 \cdot 11,6} = 0,9. \quad (2.67)$$

Отже, схема стабілізатора розрахована правильно.

2.4.2.5 Розробка плати блоку живлення

Процес конструювання друкованої плати складається з ряду взаємопов'язаних операцій: вибору типорозміру плати, способу її кріплення, кількості шарів.

При розміщенні елементів на друкованій платі частіше виходять з критерію двох мінімумів: мінімуму перетинів і мінімуму довжини зв'язків; перша умова означає і мінімум перехідних отворів, що забезпечує технологічність по мінімуму кількості шарів; друга умова означає максимум зв'язків між сусідніми елементами [20].

Розміщення елементів на платі регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної. Ця віддаль — крок координатної сітки — вибирається рівним 1,25 або 2,5 мм.

Креслення друкованої плати повинно нести повну інформацію щодо її виготовлення, а саме: зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу, розміри плати, всіх її елементів, а також розміри відстаней між ними та відомості про матеріал, з якого виготовлена плата.

Розміри кожної сторони друкованої плати повинні бути кратними 2,5 мм. при довжині до 100 мм., 5 при довжині до 350 мм., 10 при довжині понад 350 мм. Максимально допустимий розмір будь – якої із сторін плати не повинен перевищувати 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів сторін друкованої плати вибирається з ряду 1:1, 1:2, 2:3, 2:5, але не більше за 1:3. товщини плат у відповідності до вимог друкованого монтажу можна вибирати з ряду: 0,8, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0мм.

Суть друкованого монтажу полягає у нанесенні на ізоляційну основу тонких струмопровідних покриттів, які виконують функції монтажних провідників і служать для електричного з'єднання елементів схеми — резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів, мікросхем, дроселів.

Друкований монтаж дає змогу розв'язати завдання механізації виробництва, але за умови конструктивної зміни апаратури. При друкованому монтажі новим конструктивним елементом є друкована плата. Друкована плата — це певних розмірів ізоляційна основа з нанесеним на неї друкованим монтажем і отворами для встановлення радіоелементів [21].

Для виготовлення друкованих плат застосовують електротехнічний і фольгований гетинакс, текстоліт і склотекстоліт. Щоб виготовити друковану плату на ізоляційну основу наносять струмопровідні покриття відповідно до креслення друкованого монтажу. Існує багато методів виготовлення друкованих плат. У промисловості найпоширенішими є фото-, офсетно- і сітковоелектрохімічний методи, а також фото- і офсетоперенесення.

Друковані провідники розміщують рівномірно по робочій поверхні плати на максимально можливій віддалі від сусідніх елементів плати з врахуванням наступних вимог: паралельно лініям координатної сітки або під кутом, кратним 15° , паралельно напрямку руху хвилі припою або під кутом до нього не більше 30° зі сторони пайки, перпендикулярно дотичній до контура круглої контактної площадки.

Центри монтажних отворів і контактних площадок під виводи навісних елементів розташовують у вузлах координатної сітки. Якщо крок розміщення виводів багатовивідного елемента не співпадає з кроком координатної сітки, то у вузол поміщують один із отворів, який приймають за основний, а інші розміщують у відповідності з конструкцією елемента (по можливості на лініях координатної сітки).

Друковані провідники виконують максимально можливої ширини по всій довжині. У вузьких місцях можливе звуження провідників до мінімального; таке звуження повинно відбуватись по можливо меншій довжині. При прокладенні довгих провідників шириною 0,25 мм. і менше передбачають місцеве розширення провідників у вигляді контактної площадки будь – якої форми площею не менше 1 мм^2 . Віддаль між розширеннями або між розширенням і металізованим отвором (контактною площиною) повинна бути не менше 100мм.

При конструюванні друкованої плати допускається використання навісних перемичок у випадку неможливості реалізації схеми друкованими провідниками, але кількість цих перемичок по можливості не повинно перевищувати 5% числа зв'язків.

Допускається також застосування об'ємних екранованих провідників, коли їх кількість вказана в технічному завданні на розробку [22].

На кресленні друкованих плат розміри повинні вказуватись одним із наступних способів:

- нанесенням координатної сітки в прямокутній системі координат;
- нанесенням координатної сітки в полярній системі координат;
- комбінованим способом за допомогою розмірних ліній і координатної

сітки в прямокутній або полярній системі координат.

При заданні розмірів нанесенням координатних сіток лінії сітки новині нумеруватись. Крок нумерації визначається конструктивно із врахуванням насичення і масштабу зображення.

За нуль в прямокутній системі координат необхідно приймати:

- центр крайнього лівого нижнього отвору, що знаходиться на полі плати, в тому числі і технологічного;

- лівий нижній кут друкованої плати;

- ліву нижню точку, утворену лініями побудови.

Провідники шириною меншою 2,5 мм. зображають однією лінією, яка повинна бути віссю симетрії провідника, більше 2,5 мм. — двома лініями і штрихують під кутом 45° або суцільно зарисовують. З метою спрощення креслення допускається виконувати провідники будь – якої ширини однією лінією, при цьому в технічних вимогах на кресленні вказують ширину провідника.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОГО ОБСТЕЖЕННЯ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

3.1 Загальний аналіз сумарної похибки установки

Забезпечення високої точності вимірювань – важке завдання, і вирішення її належить сфері метрологічного забезпечення. Дослідника, чи технолога цікавить в кінцевому результаті похибка отриманих ними результатів вимірювання. Проте ця похибка складається з багатьох складових. Різноманітність прояву похибок та причин їх виявлення викликало необхідність поділу цих складових на певні типи [23, 25].

Похибка результату вимірювань – це відхилення результатів вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

Аналізуючи причини виникнення похибок, необхідно в першу чергу виділити ті з них, які суттєво впливають на результат вимірювання.

В залежності від форми вираження розрізняють абсолютну і відносну похибки. Абсолютною називають похибку, яка показує на скільки результат вимірювання відрізняється від істинного значення вимірюваної величини.

Тобто:

$$\Delta = A - X_{ист}, \quad (3.1)$$

де Δ - абсолютна похибка вимірювань;

A – результат вимірювання;

$X_{ист}$ – істинне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка виражається в тих же одиницях, що й вимірювальна величина.

Відносна похибка вимірювань представляє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Відносну похибку визначають в процентах за формулою:

$$\delta = \frac{A - X_{icm}}{X_{icm}} \cdot 100\% = \frac{\Delta}{X_{icm}} \cdot 100\%. \quad (3.2)$$

До похибок засобів вимірювання належать інструментальні похибки, методичні похибки.

Інструментальні похибки є в кожному засобі вимірювань, вони можуть бути визначені при його випробуваннях і занесені в паспорт на цей засіб.

Методичні похибки – це такі похибки, які пов’язані з вибраним методом вимірювань даної величини.

В залежності від умов і режимів вимірювання розрізняють статичну і динамічну похибки засобу вимірювання. Статичною називають похибку, яка не залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Статична похибка засобу вимірювання виникає при зміні за його допомогою постійної величини.

Динамічною називають похибку, яка залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Виникнення динамічної похибки зумовлене інерційністю елементів вимірювальної ланки засобу вимірювання, тобто тим, що перетворення в вимірювальній ланці не відбуваються миттєво, а потребують певного часу.

Динамічною похибкою засобу вимірювання є різниця між похибкою засобу вимірювання в динамічних умовах та його статичною похибкою, яка відповідає значенню величини в даний момент часу [24].

В залежності від характеру виявлення, можливості усунення і причин виникнення розрізняють систематичну та випадкову похибки. Систематичною називають складову похибки вимірювань, яка є постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Причинами виникнення систематичної складової похибки вимірювань (систематичних похибок) є: відхилення параметрів реального засобу вимірювання від розрахованих значень передбачених схемою; нерівноваженість певних деталей засобу вимірювання відносно їх осі обертання, яке призводить до додаткового обертання за рахунок зазорів, що є в механізмі; похибка градування або деякий зсув шкали; знос робочих поверхонь деталей засобу вимірювання; старіння

деталей; несправність засобу вимірювання і т. д. Ззовні систематичну похибку неможливо виявити. Виявити її можна тільки при повірці шляхом порівняння робочих засобів вимірювання з зразковими.

Випадковою називають складову похибки, яка змінюється випадково при повторному вимірюванні однієї і тієї ж величини. Випадкова похибка виникає при одночасній дії багатьох джерел, кожне з яких саме по собі непомітно впливає на результат вимірювань, а сумарний вплив всіх джерел може бути достатньо великим, тобто це така похибка, яка не може бути передбачена ні по знаку ні по величині.

Поряд з систематичною та випадковою похибками існує ще і прогресуюча похибка. Прогресуюча похибка змінюється в часі і ця зміна залежить від зміни характеристик окремих елементів засобу вимірювання.

Систематичне відхилення експериментальних даних від вибраної характеристики засобу вимірювання називають похибкою адекватності.

Проте є також і похибка градуювання, яка залежить від тих похибок взірцевих засобів вимірювання за допомогою яких здійснювалося експериментальне градуювання робочого засобу вимірювання.

Похибки засобу вимірювань, які залежать від величини вхідного сигналу називаються мультиплікативними, а ті що не залежать – адитивними.

Отже, на результат вимірювання може впливати багато факторів.

Схема нагромадження сумарної похибки установки наведена на рисунку

3.1

Схема нагромадження сумарної похибки установки:

1) похибки, які присутні при вимірюванні різниці потенціалів:

- характеристики ґрунту: тип ґрунту, вологість, хімічний склад, структура;
- вид ізоляційного покриття;
- температура газу, який транспортується газопроводом;
- час знаходження трубопроводу без електрохімічного захисту;

2) похибки вольтметра:

- похибка квантування;

- нестабільність порогу спрацювання пристрою порівняння;
- нелінійність кута нахилу сигналу розгортки;
- зміщення початкового рівня напруги розгортки.

3.2 Аналіз складових сумарної похибки

Правильні вимірювання і їх інтерпретація можливі тільки при знанні і дотриманні методик вимірювань, застосуванні справних приладів і при вмінні ними користуватися.

Проводити вимірювання, як правило, хочуть найбільш точними приладами, не рахуючись з умовами роботи, від яких залежить випадковій похибки вимірювань. Необхідно мати на увазі, що застосування вимірювальних приладів високої точності має зміст тільки тоді, коли відносна можлива похибка вимірювання, враховуючи вплив навколишнього середовища на точність вимірювання, буде меншою відносною найбільшою можливою похибки вимірювання.

Співставлення одних і тих же результатів вимірювання може бути правильним тільки в тому випадку, якщо методи і прилади застосовувалися одні і ті ж самі. В цьому випадку помилка при співставленні результатів вимірювань буде мінімальною. Тому при проведенні електричних вимірювань на одному об'єкті окремими партіями чи групами методи, апаратура, форма запису і методи обробки результатів вимірювань у всієї партії і групи повинні бути однаковими.

При обстеженні газопроводу виявляється його корозійний стан. А корозійний стан, в якому знаходиться газопровід, залежить від великої кількості факторів, пов'язаних з особливостями будівництва і експлуатації трубопроводу, ґрунтових умов і умов навколишнього середовища.

Мала вологість ґрунту призводить до збільшення опору ґрунту, що викликає зменшення протікаючого корозійного струму. При великій вологості

електричний опір зменшується, але сильно затрудняється дифузія кисню до поверхні металу, в результаті чого корозійний процес сповільнюється.

В залежності від хімічного складу ґрунтів і ґрунтового електроліту, ґрунт має рівну електричну провідність. Чим вищий питомий опір ґрунтів при інших рівних умовах, тим умови менш корозійно – небезпечні, і навпаки, чим нижчий питомий опір ґрунтів, тим умови більш корозійно – небезпечні.

Вид і структура ґрунту в основному впливає на швидкість дифузії кисню повітря до поверхні трубопроводу. Чим більша різниця ступені аерації різних ділянок, тим більша швидкість корозії, а тому вірогідність виникнення корозійних гальванічних пар висока.

Різні види ізоляційного покриття мають різну дифузійну проникливість, вони по різному забезпечують герметизацію трубопроводу від навколишнього середовища, і чим ця герметичність нижча, тим більш благоприємні умови для протікання корозії.

З підвищенням температури стінок трубопроводу і електроліту до 75 – 80% швидкість корозії значно збільшується.

Ступінь корозійних пошкоджень пропорційна часу знаходження трубопроводу без електрохімічного захисту.

В багатьох цифрових приладах, величина яка вимірюється перетворюється в часовий інтервал T_x . Часовий інтервал T_x квантується на N інтервалів тривалістю T_0 , які заповнені квантуючими імпульсами з періодом повторення T_0 . В загальному випадку T_x не кратне T_0 , і тому при квантуванні виникає похибка від квантування [26].

Вимірювальний інтервал часу звичайно обмежується двома імпульсами: старт – і стоп – імпульсами. Старт – імпульсом відкривається електричний ключ, який пропускає квантуючі імпульси до лічильника, а стоп – імпульсом через час T_x ключ закривається, і доступ квантуючих імпульсів до лічильника закривається.

Результат вимірювання T_N визначається за показами лічильника:

$$T_N = N \cdot T_0, \quad (3.3)$$

де N – показ лічильника (число імпульсів, які надійшли до лічильника за час T_x).

Якщо припустити, що тривалість старт – і стоп – імпульсів дуже мала, то похибкою від кінцевої тривалості їх фронтів можна знехтувати.

В загальному випадку старт – і стоп – імпульси можуть проявлятися в будь – який момент між відповідними квантуючими імпульсами. При цьому в показах лічильника, який проградуєвано в одиницях часу, виникає сумарна абсолютна похибка:

$$\Delta_k = N \cdot T_0 - T_x = \Delta_1 - \Delta_2, \quad (3.4)$$

де $\Delta_1 = K_1 \cdot T_0$ - зсув між нульовим лічильним імпульсом і старт – імпульсом або додатня похибка квантування, яка входить в $N \cdot T_0$, але не входить в T_x , частину періоду повторення першого квантуючого імпульсу, який пройшов через лічильник;

$\Delta_2 = K_2 \cdot T_0$ - зсув між останнім лічильним імпульсом і стоп – імпульсом або від’ємна похибка квантування, яка входить в T_x , але не входить в $N \cdot T_0$, частина періоду $(N + 1)$ імпульса, яка не пропущена через лічильник.

Максимальна абсолютна похибка буде рівна $\pm T_0$, а максимальна відносна :

$$\delta_k = \pm T_0 / T_x \cdot 100. \quad (3.5)$$

Якщо ймовірність розміщення старт – і стоп – імпульсів в будь – який момент між відповідними квантуючими імпульсами однакова, розподілення похибок Δ_1 і Δ_2 рівномірне і несиметричне.

Розподілення сумарної похибки Δ_k , яка рівна сумі двох випадкових і незалежних величин Δ_1 і Δ_2 , буде трикутником.

Тоді СКВ сумарної похибки від квантування:

$$\sigma(\Delta_k) = \sqrt{2 \int_0^{T_0} p \cdot (\Delta_k) \cdot \Delta_k^2 \cdot d\Delta_k} = \sqrt{2 \int_0^{T_0} 1/T_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta_k}{T_0}\right) \cdot \Delta_k^2 \cdot d\Delta_k} = T_0/\sqrt{6}. \quad (3.6)$$

СКВ сумарної похибки від квантування можна визначити також із виразу для дисперсії сумарної похибки:

$$D(\Delta_k) = D(\Delta_1) + D(\Delta_2) \quad (3.7)$$

Тоді

$$\sigma(\Delta_k) = \sqrt{\left(T_0/2\sqrt{3}\right)^2 + \left(T_0/2\sqrt{3}\right)^2} = T_0/\sqrt{6}. \quad (3.8)$$

Похибку Δ_1 можна усунути, застосувавши генератор квантуючих імпульсів з ударним збудженням, однак нестабільність таких генераторів вища, ніж у звичайних квантуючих генераторів імпульсів (досягає 10^{-5}).

В електронних цифрових вольтметрах розгортаючого зрівноваження похибку Δ_1 можна усунути синхронізацією моменту запуску генератора лінійної напруги, тобто старт – імпульса, з одним із квантуючих імпульсів. При роботі в режимі періодичних вимірювань запуск генератора лінійної напруги здійснюється через подільник імпульсів від кожного N – го імпульса. При роботі в режимі разових вимірювань синхронізація моменту запуску генератора лінійної напруги може здійснюватися прив'язкою імпульса запуску до найблищого із квантуючих імпульсів.

Якщо похибка Δ_1 усунена, то максимальна сумарна похибка $\Delta_k = T_0$, $M(\Delta_k) = T_0/2$, $\Delta_k = \Delta_2$, а СКВ:

$$\sigma(\Delta_k) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T_0} \Delta_2^2 d\Delta_2} = T_0/2\sqrt{3}, \quad (3.9)$$

при цьому СКВ похибки від квантування зменшується. При усуненні Δ_1 зменшується діапазон вимірювання максимальної похибки в 2 рази.

Враховуючи несиметричність характеру розподілення похибки Δ_2 з середнім значенням $0,5T_0$ створюється можливість введення поправки в покази.

Застосування генератора ударного збудження з зсувом $T_0/2$ і є прикладом введення такої автоматичної поправки.

В електронних цифрових вольтметрах розгортаючого зрівноваження запуск генератора компенсуючого напругу і старт – імпульса можуть здійснюватися з постійним випередженням квантуючого імпульса на час, який рівний $T_0/2$. Тоді похибка Δ_1 постійна і складає $0,5T_0$, а сумарна похибка від квантування:

$$\Delta_k = T_0/2 - \Delta_2. \quad (3.10)$$

Максимальне значення сумарної похибки від квантування $\pm 1/2 T_0$, а СКВ – $T_0/2\sqrt{3}$.

Для подальшого зменшення похибки від квантування часових інтервалів, перш за все випадкової складової, застосовують багатократне вимірювання n неприлягаючих інтервалів T_x або n прилягаючих інтервалів T_x .

При вимірюванні неприлягаючих інтервалів T_x можливі наступні чотири випадки:

1) $T_x = const$, $\Delta_1 = const$ при цьому Δ_k також постійна і усереднення недоцільне, оскільки випадкова складова похибки відсутня, а похибка від квантування постійна і при усередненні залишається незмінною;

2) $T_x = const$, $\Delta_1 = var$, в цьому випадку $\Delta_k = const$; однак, якщо Δ_1 розподілена рівномірно і несиметрично в діапазоні $0 \dots T_0$, то похибка від квантування в середнє значення $N_{T_{xcp}}$ не входить, максимальне значення

$\sigma(\Delta_k) = T_0/2\sqrt{n}$, а похибка від квантування складає:

$$\Delta_k = \frac{n_{N+1}}{n_N + n_{N+1}} \cdot T_0,$$

(3.11)

де n_N - число вимірювань T_x з результатом N ;

n_{N+1} - число вимірювань T_x з результатом $N + 1$;

$n = n_N + n_{N+1}$ - загальне число вимірювань;

3) $T_x = var$, $\Delta_1 = const$, якщо T_x випадкове по розміру, то

$$M(\Delta_k) = \Delta_1 - T_0/2,$$

$$\text{а } \sigma(\Delta_k) = T_0/2\sqrt{3n};$$

4) $T_x = var$, $\Delta_1 = var$, при випадкових T_x і Δ_1 СКВ середнього із n вимірювання $\sigma(\Delta_k)_{cp} = T_0/\sqrt{6n}$.

При вимірюваннях n прилягаючих інтервалів T_x і при рівномірному розподілі Δ_1 і Δ_2 СКВ при вимірюванні середнього значення одного інтервалу

$$T_x \sigma(\Delta_k)_{cp} = T_0/n\sqrt{6}, \quad M(\Delta_k) = 0, \quad \text{а максимальне значення } \Delta_{kmax} = \pm T_0/n.$$

Розрахуємо сумарну похибку вимірювача напруги. Для цього використаємо схему електричну принципову приладу. Розрахунок будемо проводити з врахуванням того, що кожний елемент схеми має свою власну допустиму похибку. Спочатку розрахуємо абсолютну похибку для кожного резистора і конденсатора схеми за формулою:

$$\Delta_i = \frac{\delta_i \cdot X_i}{100\%}, \quad (3.12)$$

де Δ_i - абсолютна похибка i – го резистора чи конденсатора;

δ_i - власна допустима похибка i – го резистора чи конденсатора;

X_i - номінальне значення i – го опору резистора чи i – ї ємності

конденсатора.

Результати розрахунку занесено до таблиці 3.1.

Обчислимо середньоквадратичне відхилення для кожного резистора і конденсатора схеми за формулою:

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{z_i}, \quad (3.13)$$

де z_i - коефіцієнт для рівномірного закону розподілу.

Знаходимо сумарне середньоквадратичне відхилення для резисторів і конденсаторів за формулою:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (3.14)$$

де n – кількість елементів.

Обчислимо сумарну відносну похибку окремо по резисторах і конденсаторах:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{U_H}{\sigma_{\Sigma} \cdot z_{\Sigma}} \cdot 100\%, \quad (3.15)$$

де U_H - номінальне значення вихідної напруги;

z_{Σ} - коефіцієнт для нормального закону розподілу.

Сумарна відносна похибка приладу буде рівна сумі сумарних відносних похибок по резисторах і конденсаторах.

3.3 Метрологічне забезпечення

Метрологічне забезпечення є важливим аспектом для гарантування надійності, точності та безпечності роботи газотранспортних систем. Корозійний стан трубопроводів і пов'язаних із ними об'єктів суттєво впливає на їх довговічність і експлуатаційну надійність. Недостатній контроль корозійних процесів може стати причиною аварій, економічних втрат і екологічних проблем.

Метою забезпечення є аналіз вимог і підходів до організації точних і достовірних вимірювань для діагностики стану об'єктів транспортування газу. Для цього визначаються ключові параметри, які потребують постійного

моніторингу, розробляються ефективні методики вимірювань, обираються відповідні засоби та системи контролю.

Особливе значення має регулярне калібрування і перевірка обладнання, щоб забезпечити відповідність його метрологічних характеристик встановленим стандартам. У процесі контролю застосовуються сучасні методи, такі як неруйнівний ультразвуковий контроль, магнітні та електрохімічні способи діагностики.

Усі вимірювання мають проводитися в умовах, що враховують особливості експлуатації, зокрема температуру, тиск і вологість. Результати обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу та виявлення відхилень, що можуть сигналізувати про ризик пошкодження трубопроводів.

Належне метрологічне забезпечення є ключовим інструментом для ефективного прогнозування корозійного стану та запобігання аварійним ситуаціям у системах транспортування газу.

3.3.1 Засоби повірки

Для повірки вимірювача напруги використовують контрольно – вимірювальну апаратуру, яка наведена нище:

- подільник напруги з класом точності 0,005 %;
 - потенціометр з класом точності 0,005 %;
 - норматний елемент II класу з класом точності 0,005 %;
 - вольтметр з класом точності 0,5 %;
 - автотрансформатор потужністю 0,5 кВт;
 - магазин опорів з класом точності 0,05 %;
 - магазин опорів з класом точності 0,02 %;
 - прилад для повірки вольтметрів змінного струму з класом точності 0,023 %;
- частотний діапазон 20 Гц – 100 кГц; вихідна напруга 1 мВ – 100 В;

- джерело регульованої напруги з вихідною напругою 0 – 1 В.

3.3.2 Методика проведення повірки приладу

Для перевірки основної похибки вимірювання напруги постійного струму необхідно зібрати схему, яка вказана на рисунку 3.2. За допомогою цієї схеми проводять перевірку піддіапазонів вимірювання 1 В, 10 В, 100 В, 1000 В.

На вхід вольтметра спочатку подають, використовуючи джерело регульованої напруги, наступні значення напруги: 100 мВ \pm 10 %, 300 мВ \pm 10 %, 500 мВ \pm 10 %, 700 мВ \pm 10 %, 900 мВ \pm 10 % і провести вимірювання кожного значення. Потім змінюють полярність вимірюваної напруги і проводять вимірювання тих самих значень напруги.

Для перевірки піддіапазону 10 В на вхід вольтметра, використовуючи батарею сухих елементів, подають наступні значення напруги: 1 В \pm 10 %, 5 В \pm 10 %, 9 В \pm 10 % і проводять вимірювання кожного значення.

Для перевірки піддіапазону 100 В на вхід вольтметра, використовуючи батарею сухих елементів, подають наступні значення напруги: 100 В \pm 10 %, 50 В \pm 10 %, 90 В \pm 10 % і проводять вимірювання кожного значення.

Для перевірки піддіапазону 1000 В на вхід вольтметра, використовуючи батарею сухих елементів, подають наступні значення напруги: 100 В \pm 10 %, 500 В \pm 10 %, 900 В \pm 10 % і проводять вимірювання кожного значення.

Визначення похибки у вказаних точках піддіапазонів вимірювання 1 В, 10 В, 100 В, 1000 В проводиться за наступною методикою: на вхід приладу подається вимірювана напруга, яка входить в той піддіапазон, що перевіряється. Збільшуючи вимірювану напругу, добитися появи на індикаторному таблі приладу двох показів U_x і $U_x + 1$ одиниця молодшого розряду, причому частота появи показів U_x не більше 0,1, що відповідає частоті появи U_x не більше 1 разу на протязі 5 с. В цьому положенні фіксують значення вимірюваної напруги U'_0 . Потім, зменшуючи вимірювану напругу, добиваються

появи на індикаторному табло приладу показів U_x і $U_x - I$ одиниця молодшого розряду, причому частота появи показів U_x повинна бути не більше 0,1, що відповідає частоті появи показів U_x не більше 1 разу на протязі 5 с і фіксують значення вимірюваної напруги U''_0 .

За похибку приладу приймається більша по модулю із двох різниць, які визначаються за формулами:

$$\Delta = |U_x - U'_0|;$$

$$\Delta = |U_x - U''_0|,$$

де Δ - похибка вимірювання приладу в повірочній точці.

ВИСНОВКИ

У цій магістерській роботі я провів комплексний аналіз методів і засобів діагностики стану підземних трубопроводів і захисту від корозії. Основну увагу приділив розробці вдосконаленої методики обстеження корозійного стану та оцінці ефективності протикорозійного захисту.

Я розробив методику моніторингу корозійного стану трубопроводів, яка включає використання сучасних чотирьохелектродних установок для визначення питомого електроопору ґрунтів та методів пошуку дефектів ізоляції. Це дозволяє більш точно визначати корозійно небезпечні ділянки та оцінювати стан ізоляційного покриття.

Також я вдосконалив технічні характеристики засобів діагностики, особливо електрометричних приладів для вимірювання різниці потенціалів "труба-земля". Це підвищило точність вимірювань і забезпечило автоматизацію обробки даних.

Я розробив схеми і методи перевірки контрольно-вимірювальних пунктів, що дозволяють ефективно контролювати параметри корозійного стану, наприклад, методом вимірювання градієнтів потенціалу.

У своїй роботі я також запропонував рекомендації для підвищення ефективності електрохімічного захисту трубопроводів, включаючи оптимізацію режимів катодного захисту та підвищення надійності роботи заземлювачів.

Окремо я підкреслив важливість врахування корозійної активності ґрунтів, таких як їх кислотність, вологість, структура та електропровідність. Це допомагає розробляти ефективні заходи для попередження корозії.

У результаті виконаних досліджень я створив основу для впровадження сучасних методів діагностики та захисту підземних трубопроводів, що забезпечує їхню надійність і довговічність навіть за умов підвищених корозійних ризиків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Электрохимическая защита трубопроводов от коррозии/ В.Н. Остапенко, Л.Н. Ягупольская, В.В. Лукович и др. – К.: Наук. Думка, 1988. – 190 с.
2. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів/ В.В. Розгонюк, Ю.П. Гужов, Ю.О. Кузьменко, В.А. Шишківський. – Київ: Росток, 2000. – 285с.
3. Защита магистральных трубопроводов от коррозии/ Котик В.Г., Глазков В.И., Дорошенко П.Г. БТИ ЦИМТнефть, 1986.
4. Методы контроля состояния труб подземных магистральных трубопроводов/ П.А. Халилеев, П.А. Григорьев и др. – Дефектоскопия, 1974. – №4.
5. Борисов Б.И. Защитная способность изоляционных покрытий подземных трубопроводов. – М.: Недра, 1987. – 123с.
6. Спирин А.А. и др. Методика электрических исследований коррозионного состояния трубопроводов и кабелей. Азнефтеиздат, 1974.
7. Шагов Н.П. Машины для очистки и изоляции трубопроводов. – М.: Недра, 1974. – 208с.
8. Апплгейт Л.М. Катодная защита. Москва: Металлургия, 1963.
9. Зиневич А.М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. – М.: Недра, 1975. – 287с.
10. Ивашина Ю.Г., Шпренгель Л.Е. Защита трубопроводов от коррозии. – Киев: Будівельник, 1980. – 71с.
11. Никитенко Е.А. Электрохимическая защита магистральных газопроводов от коррозии. – М.: Госпоттехиздат, 1970. – 232с.
12. Цикерман Л.Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ. – М.: Недра, 1977. – 319с.

13. ДСТУ 4219 – 2003 Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії.
14. ГОСТ 5272 – 68. Коррозия металлов: Термины.
15. Карпов В.И. Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока.
16. Цифровые электроизмерительные приборы. Под. ред. В.М. Шлендина. – М.: Энергия, 1972. – 397с.
17. Гершунский Б.С. Расчет основных электронных и полупроводниковых схем в примерах, 1968. – 512с.
18. Расчет электронных схем. Примеры и задачи/ Г.И. Извюрова и др. М.: Высшая школа, 1987. – 315с.
19. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертения и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288с.
20. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя, в 3 – х т. – М.: Машиностроение, 1982. – Т.1 – 736с.; Т.2 – 584с.; Т.3 – 576с.
21. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/ Под. ред. Р.Г. Гаврилова – М.: Советское радио, 1980. – 480с.
22. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів – Івано – Франківськ: Видавництво “Факел”, Івано – Франківськ, 2004. – 328с.
23. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Івано – Франківськ: Видавництво “Факел”, Івано – Франківськ, 2002. – 400с.
24. Зимельман М.А. Метрологические основы технических измерений. – М.: Изд – во стандартов, 1991. – 256с.
25. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304с.

26. Полішко С.П., Трубенюк О.Д. Точність засобів вимірювання. – К.: Вища школа, 1992. – 170с.
27. Жидацький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. – Львів.: Афіша, 2000. – 200с.
28. Жидацький В.Ц. Основи охорони праці. – Львів.: Афіша, 2002. – 320с.
29. Куцын П.В. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 1987. – 354с.
30. Калічак О.В., Семенов Г.Н., Когуч Я.Р. – Охрана праці. Методичні вказівки для виконання дипломного проекту. Івано – Франківськ, 2004. – 68с.
31. Карташов Т.Н. и др. Охрана труда при строительстве объектов нефтяной и газовой промышленности. Справочник – М.: Недра, 1968.
32. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению: Уч. пособ. для вузов. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 175с.
33. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Л.: Энергия, 1976.
34. СНИП П – 4 – 79. Естественное и искусственное освещение.
35. ГОСТ 12.2.091 – 83. ССБТ. Приборы электроизмерительные, показывающие и регистрирующие. Требования безопасности.
36. ГОСТ 12.0.003. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
37. Станковська І.М. Методичні вказівки по виконанню курсової роботи. Івано – Франківськ: Факел, 2004.
38. Войтоловський Н.В. Управление качеством продукции в условиях перехода к рынку; Монографія. СПбУЭФ, 1994.
39. Покропивний С.Ф., Колот В.М. Підприємництво: стратегія, організація, ефективність. Навчальний посібник: Київ: КНЕУ, 1998.

40. Стандарт підприємства. Курсовий і дипломний проект. Вимоги до змісту та оформлення. СТП 02070855 – 03 – 99 – Івано – Франківськ, ІФДТУНГ, 1999. – 72с.

41. Справочник конструктора РЭА: компоненты, механизмы, надежность/Под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

42. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей. – М.: Изд – во стандартов, 1984. – 240 с.

43. ЕСКД. Основные положения. – М.: Изд – во стандартов, 1983. – 352с.

44. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочное пособие./Под ред. Э.Г.Романичевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.