

**С.Г. Поляков, А.В. Клименко, С.Ю. Коваленко**

Інститут електроварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

## СИСТЕМА КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТРУБОПРОВОДІВ



Розроблена система корозійного моніторингу трубопроводів (СКМТ), призначена для визначення місць пошкодження захисного покриття, вимірювання потенціалів (корозійних, поляризаційних, захисних, поперечного поздовжнього градієнтів) трубопроводу, корозійної активності ґрунту (швидкості корозії металу трубопроводу на різних рівнях його залягання) і швидкості залишкової корозії металу трубопроводу в дефектах захисного покриття. СКМТ застосовується при технічній експлуатації діючих трубопроводів і будівництві нових трубопроводів.

*Ключові слова:* магістральний трубопровід, потенціал, швидкість корозії.

**Актуальність.** Однією з актуальних задач моніторингу трубопровідного транспорту є визначення остаточного ресурсу роботи трубопроводів, що експлуатуються. Ця задача полягає у виявленні ділянок, на яких є дефекти, та визначенні можливості (або неможливості) подальшої експлуатації трубопроводу в даних умовах. Точність виконання цієї задачі багато в чому залежить від того, в якій мірі система оцінки враховує всі можливі процеси, що протікають на трубопроводі в реальних умовах, наскільки достовірні дані, на основі яких проводиться розрахунок. Тому визначення остаточного ресурсу роботи трубопроводів в умовах корозійного зносу повинне опиратися на оцінку швидкості протікання корозійного процесу [1, 2]. Важливим є те, що в основі корозійних процесів, які призводять до руйнування трубопроводів, лежить електрохімічний механізм, котрий обумовлює правомірність використання саме електрохімічних методів.

В основу розробленої в лабораторії корозії ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ системи корозійного моніторингу трубопроводів (СКМТ) по-

кладено методики, детально описані та регламентовані державним стандартом [3].

**Призначення.** СКМТ призначена для визначення місць пошкодження захисного покриття, вимірювання потенціалів (корозійних, поляризаційних, захисних, поперечного поздовжнього градієнтів) трубопроводу, корозійної активності ґрунту (швидкості корозії металу трубопроводу на різних рівнях його залягання) і швидкості залишкової корозії металу трубопроводу в дефектах захисного покриття. До складу СКМТ входять: СКМТ-ВБ (вимірювальний блок) із системою GPS, переривачі струму катодного захисту ПСКЗ-30, котушка проводу (1000 м) з лічильником метражу, мідно-сульфатні електроди порівняння, датчики швидкості корозії, пристрій для заглиблення датчика швидкості корозії (бур), запасні матеріали та приладдя. На рис. 1 наведено загальний вигляд СКМТ.

**Можливості.** Вимірювання захисних та поляризаційних потенціалів передбачає під'єднання від'ємної клеми СКМТ-ВБ до трубопроводу через пункт вимірювання (ПВ). Позитивна клема при цьому підключається до електрода порівняння.

Вимірювання захисного потенціалу  $E_{зах}$  (з омічною складовою) проводиться при вклю-

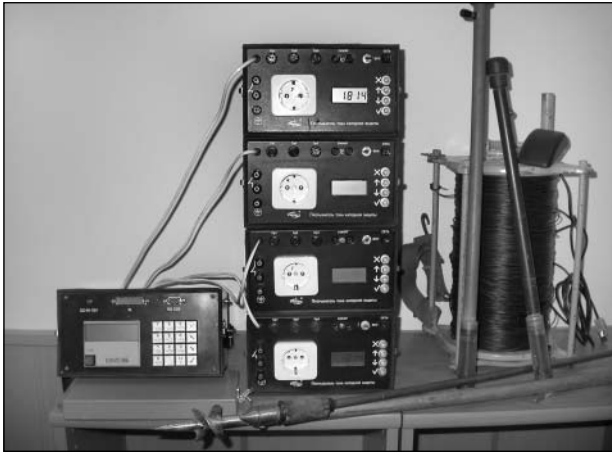


Рис. 1. Загальний вигляд СКМТ

ченій системі катодного захисту на контрольованій ділянці методом виносу електрода порівняння, що не поляризується. На одній точці робиться не менше трьох вимірювань, за результатами яких розраховується його середнє значення  $E_{зах}$  за формулою

$$\bar{E}_{зах} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{зах_i}}{n}, \quad (1)$$

де  $\sum_{i=1}^n E_{зах_i}$  — сума значень захисних потенціалів за весь час вимірювань, В;  $n$  — кількість вимірювань.

Вимірювання поляризаційного потенціалу  $E_{пол}$  проводиться при відключеній системі катодного захисту на контрольованій ділянці методом виносу електрода порівняння, що не поляризується. Відключення катодних станцій, які впливають на досліджувану ділянку трубопроводу, здійснюється за допомогою переривників струму катодного захисту (ПСКЗ), що входять до складу СКМТ. ПСКЗ встановлюються на УКЗ перед початком вимірювань; під час встановлення проводиться їх синхронізація. На одній точці робиться не менше трьох вимірювань, за результатами яких розраховується його середнє значення  $E_{пол}$  за формулою:

$$\bar{E}_{пол} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{пол_i}}{n}, \quad (2)$$

де  $\sum_{i=1}^n E_{пол_i}$  — сума значень поляризаційних потенціалів за весь час вимірювань, В;  $n$  — кількість вимірювань.

Виявлені в процесі вимірювання потенціалів позитивні аномалії (інтервали ділянки, що обстежується, на яких різниця потенціалів за абсолютною величиною менше 0,85 В по мідно-сульфатному електроду порівняння (м.с.е.)) деталізуються зменшенням кроку вимірювань у 2 рази. При послідовному зменшенні кроку вимірювань визначається точка, що відповідає максимальному позитивному значенню потенціалу. Ця точка відповідає епіцентру місця пошкодження захисного покриття. Одночасно з вимірюваннями захисних та поляризаційних потенціалів можна проводити визначення місць пошкодження захисного покриття за допомогою методів поздовжнього та поперечного градієнтів (метод винесення двох електродів порівняння).

Критерієм пошкодження захисного покриття методами вимірювання захисного та поляризаційного потенціалів є відхилення потенціалу, що обумовлено відповідними нормативними документами. Критерієм пошкодження захисного покриття методами поздовжнього та поперечного градієнтів є значення різниці потенціалів між двома м.с.е.

Оцінка корозійної активності ґрунту здійснюється за допомогою методу лінійної поляризації (метод поляризаційного опору) в місцях пошкодження захисного покриття, на різних глибинах залягання трубопроводу  $H_1$ ,  $H_2$  і  $H_3$  в залежності від діаметра труби  $D$  (див. рис. 2). При  $D < 300$  мм вимірювання виконуються на глибині  $H_2$ , при  $300 \leq D \leq 900$  мм — на глибинах  $H_1$  і  $H_3$ , при  $D > 900$  мм — на глибинах  $H_1$ ,  $H_2$  і  $H_3$ . Для заглиблення датчика швидкості корозії використовується спеціальний бур, при цьому свердловина буриться на відстані  $a$  від стінки труби  $10 < a < 200$  мм. При необхідності проведення вимірювань на декількох глибинах спочатку необхідно пробури-

$$h = |H - 30| \text{ мм}, \quad (3)$$

де  $H$  — відстань від поверхні ґрунту до верхньої точки труби, яка визначається поперечно; 30 мм — половина довжини датчика швидкості корозії.

У програмне забезпечення СКМТ-ВБ закладено програму автоматичного розрахунку корозійної активності ґрунту за формулою

$$i_k = \frac{2 \cdot B \cdot \Delta I}{S \cdot \Delta E}, \text{ мм/рік}, \quad (4)$$

де  $B$  — постійна методу (для трубних сталей складає величину 332);  $S$  — площа поверхні одного електрода датчика швидкості корозії (ШК), см<sup>2</sup>;  $\Delta I$  — вимірне значення струму, А;  $\Delta E$  — різниця потенціалів, що задається між робочими електродами датчика ШК (складає 10 мВ).

Для розрахунку швидкості корозії перед початком вимірювання оператором крім параметрів  $B$ ,  $S$  та  $\Delta E$  вводиться також час поляризації  $t$ .

У кожній точці проводиться не менше трьох вимірювань, за результатами яких розраховується середнє значення за формулою

$$\bar{i}_k = \frac{\sum_{i=1}^n i_{k_i}}{n}, \text{ мм/рік}, \quad (5)$$

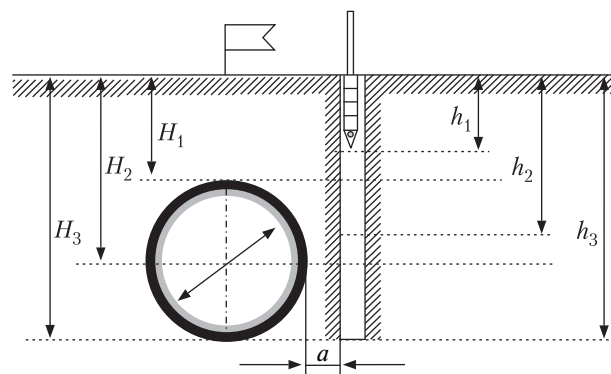
де  $\sum_{i=1}^n i_{k_i}$  — сума значень швидкостей корозії за весь час вимірювань, мм/рік;  $n$  — кількість вимірювань.

Після визначення корозійної активності ґрунту з урахуванням поляризаційного потенціалу на трубі можна розрахувати швидкість залишкової корозії металу трубопроводу в дефекті захисного покриття за формулою:

$$i_{k_s} = i_k \cdot 10^{\frac{E_{пол} - E_{кор}}{b_a}}, \quad (6)$$

де  $i_k$  — швидкість ґрунтової корозії, мм/рік;  $E_{пол}$  — поляризаційний потенціал в точці вимірювання, В;  $E_{кор}$  — потенціал корозії металу трубопроводу, В;  $b_a$  — анодний тафелівський нахил (визначається в трасових умовах), В.

**Наукові результати.** Система корозійного моніторингу трубопроводів дозволяє надійно вимірювати коливання захисного та поляризаційного потенціалів у часі, що необхідно для



**Рис. 2.** Схема вимірювання корозійної активності ґрунту на різних глибинах в залежності від діаметру труби:  $h_1$ ,  $h_2$  та  $h_3$  — відстані від поверхні труби до верхньої твірної, осі та нижньої твірної відповідно

виявлення впливу блукаючих струмів на корозійний стан трубопроводів, вимірювати корозійну активність ґрунту та визначати швидкість залишкової корозії металу трубопроводу, що дає можливість прогнозувати зміну корозійного стану металу трубопроводу з часом та розраховувати ресурс працездатності локальної ділянки і всього трубопроводу в цілому.

**Сфери застосування.** Запропонована нами система моніторингу застосовується при технічній експлуатації діючих магістральних нафтогазопроводів, аміакопроводів, комунальних водопроводів та систем газопостачання. Призначена для експлуатації при температурі навколишнього повітря від  $-10$  до  $+50$  °С і відносній вологості повітря до 95 % при температурі  $+30$  °С.

**Технічні характеристики.** Діапазон вимірювання поляризаційних і захисних потенціалів від  $-10$  до  $+10$  В. Діапазон вимірювання градієнтів потенціалів від  $-1$  до  $+1$  В. Межа допустимого значення основної абсолютної похибки СКМТ при вимірюванні поляризаційних, захисних потенціалів і градієнтів потенціалів не перевищує

$$\Delta E = (1 + 0,01E), \text{ мВ}, \quad (7)$$

де  $E$  — дійсне значення вимірюваного потенціалу.

Вхідний опір СКМТ при вимірюванні поляризаційного, захисного потенціалів і градієнтів потенціалів — не менше 10 МОм/В. При вимірюванні захисного потенціалу передбачено режим довгострокового контролю змін захисного потенціалу (час контролю — 10 хв, 1 г, 12 г, 24 г) з інтервалами між вимірюваннями 1; 2; 5; 10; 30 с; 1 хв. Прилад системи корозійного моніторингу трубопроводів вимірює поляризаційні, захисні потенціали і градієнти потенціалів при напрузі перешкоди основної гармоніки промислової частоти 50 Гц на вході вимірювального блоку не більше 1 В. У приладі є кероване джерело напруги постійного струму. Діапазон вихідної напруги — 0,05–2 В. Дискретність установки вихідної напруги — 10 мВ. Похибка установки напруги на виході приладу — не більш 10 мкВ.

В СКМТ передбачено вимірювання струму в межах 0–100 мА. Похибка вимірювання сили струму в діапазоні 0–0,001 мА — не більше 10 %, у діапазоні 0,001–0,01 мА — 5 %, у діапазоні 0,01–100 мА — 1 %. Також в СКМТ передбачено переривник, що забезпечує комутацію струму силою до 100 мА і напругою до 10 В.

Результати вимірювань можуть зберігатися в пам'яті СКМТ протягом усього часу обстеження трубопроводу. Об'єм збереженої приладом інформації — не менше 2000 вимірювань. У приладі передбачена можливість перезапису результатів вимірювань на ПК через стандартний порт і є відповідне програмне забезпечення для передачі даних у середовище Windows, а також можливість визначення географічних координат за допомогою приймача GARMIN GPS 35LP.

Електроживлення СКМТ здійснюється від вбудованих акумуляторів, гальванічних елементів або від зовнішнього джерела постійного струму напругою  $8 \pm 2$  В. Максимальне значення сили струму, споживаного приладом, — не більше 200 мА. В системі передбачено контроль напруги джерела живлення та забезпечено збереження інформації, записаної в пам'ять приладу при випадковому відключенні джерела живлення.

**Вимоги до персоналу.** До роботи з СКМТ допускаються працівники, які детально ознайоми-

лися з інструкцією по експлуатації приладу. Для проведення корозійного моніторингу трубопроводів за допомогою СКМТ необхідно не менше трьох чоловік (оператор і два помічники).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Polyakov S.G. Electrochemical monitoring and method of application of new construction polymer coatings for welding pipelines // International conf. «Corrosion – 2001». — NACE. — Houston, 2001. — Paper N1610. — 8 p.
2. Об измерениях поляризационного потенциала на подземных стальных трубопроводах. Н.П. Глазов, К.Л. Шамшетдинов, М.А. Сурис, Л.И. Фрейман, В.М. Левин / Практика противокоррозионной защиты. — № 2. — 2000.
3. ДСТУ 4219-2003 Трубопроводы сталеви магистральни. Загальні вимоги до захисту від корозії.
4. Поляков С.Г. Электрохимический мониторинг у захисті від корозії зварних трубопроводів // Дисертація д.т.н. Національний технічний університет України «КПІ», Київ, 1999.

*С.Г. Поляков, А.В. Клименко, С.Ю. Коваленко*

#### СИСТЕМА КОРРОЗИОННОГО МОНІТОРИНГА ТРУБОПРОВОДОВ

Разработана система коррозионного мониторинга трубопроводов (СКМТ), предназначенная для определения мест повреждения защитного покрытия, измерения потенциалов (коррозионных, поляризационных, защитных, поперечного продольного градиентов) трубопроводов, коррозионной активности почвы (скорости коррозии металла трубопровода на разных уровнях его залегания) и скорости остаточной коррозии металла трубопровода в дефектах защитного покрытия. СКМТ применяется при технической эксплуатации действующих и строительства новых трубопроводов.

*Ключевые слова:* магистральный трубопровод, потенциал, скорость коррозии.

*S. Polyakov, A. Klimenko, S. Kovalenko*

#### SYSTEM OF CORROSION MONITORING OF PIPELINES

System of corrosion monitoring of pipelines (SCMP) is developed. It is intended for detection of damaged areas of protective coating, measurement of pipeline potentials (corrosion, polarization, protective, cross-section and longitudinal gradients), soil corrosive activity (pipeline metal corrosion rate at different levels of its bedding) and residual corrosion rate of pipeline metal in coating defects. SCMP is applied at technical maintenance of operating pipelines and building of new ones.

*Key words:* main pipeline, potential, corrosion rate.

Надійшла в редакцію 04.06.10