УДК 621.317

***С.І. КОНДРАШОВ***, д-р тех. наук, проф., НТУ «ХПІ»,
***В.Ф. ЗАБАРА***, канд. тех. наук, ХДПУ ім. Г.С. Сковороди,
***К.К. ЧЕРНИШОВА***, аспірант НТУ «ХПІ»

# КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

В статті проаналізовані електрохімічні методи контролю корозійних процесів. Представлена узагальнена схема методів вимірювань по електродного потенціалу. Розглядаються основні переваги методів визначення стану металевих конструкцій по електродному потенціалу.

Electrochemical methods of control of corrosion processes are analyzed. The general scheme of electrode potential measuring methods is presented. Basic advantages of determination methods of metallic constructions state by electrode potential are considered.

Економічні та екологічні збитки від корозії металевих виробів, обладнання та конструкцій дуже великі. В останні роки, наприклад, у США щорічні збитки від корозії складають 300 млрд. дол., що відповідає 6% національного прибутку держави. В Україні, як і в інших індустріально розвинених країнах, прямі та непрямі збитки від корозії металоконструкцій, обладнання, машин та механізмів в енергетиці, нафтогазодобувній, хімічній, нафтопереробній, харчовій та інших галузях промисловості також досягають значної долі національного прибутку. Прямі збитки пов'язані з втратою металу, виходом з ладу трубопроводів, резервуарів, хімічних апаратів унаслідок їх корозії [1].

Україна насичена магістральними нафто-, газо- та продуктопроводами, загальна протяжність яких складає понад 40 тис. км. Саме тому проблема визначення ресурсу та екологічної безпеки технологічного обладнання для України особливо актуальна.

Руйнування трубопроводів зумовлено корозійними процесами, в основі яких лежить електрохімічний механізм. Тому саме вдосконалення електрохімічних методів дослідження, оцінки та прогнозування корозії трубопроводів має велике, глобальне значення для підтримки та захисту, подовження строків експлуатації металевих підземних споруд, а саме трубопроводів нафти та газу.

Великий внесок у розвиток електрохімічних методів зробив Ю. С. Герасименко, який довгі роки досліджує різні електрохімічні методи контролю корозійних процесів. Їм були зроблені значні досягнення у вирішенні питань, пов'язаних з контролем трубопровідного транспорту, розроблені оригінальні винаходи у галузі корозійно-вимірювальної техніки та електрохімічних сенсорів.

Для визначення електродного потенціалу на катоднозахисних підземних сталевих трубопроводах В. С. Рябов неодноразово пропонував використати

відомий метод синхронного відключення катодних станцій замість методу відключення імітатора дефекту ізоляції - датчика потенціалу, вперше офіційно рекомендованого ГОСТом 9.015-74 (згодом заміненого ГОСТом 9.602-2005) [2]. Автори роботи [3] заперечують виводи, зроблені В. С. Рябовим, аргументують і доводять, що метод визначення електродного потенціалу шляхом відключення датчика потенціалу є більш надійним і має ряд переваг у порівнянні з методом синхронного відключення катодних станцій. Робота [4] вказує на те, що вимірювання, проведені по методу відключення катодних станцій, через численні систематичні похибки можливі лише в обмежених випадках, і доведено, що найбільш надійним способом є метод допоміжного електроду - тобто метод визначення електродного потенціалу.

Аналіз літератури показав, що метод визначення електродного потенціалу є надійним, і має ряд переваг у порівнянні з іншими методами контролю. Але, порівняльного аналізу усіх електрохімічних методів контролю не проведено, не розглянуті метрологічні властивості методів, а також не враховані властивості засобів вимірювань. Немає одноголосності і немає єдиної чіткої моделі, за допомогою якої можливим була би реалізація певного високоефективного і точного контролю систем застарілих трубопроводів, якими насичена Україна, і які потребують негайного контролю, інакше не уникнути руйнування й втрат, які неприпустимі у нестабільній економіці країни.

Метою статті є чітка класифікація і розгляд найбільш відомих методів контролю корозійних процесів і узагальнення методів визначення електродного потенціалу, як найбільш підходящих для точного контролю, з подальшим створенням єдиної удосконаленої моделі контролю корозійних процесів трубопроводів.

Згідно з [1], сучасні ефективні електрохімічні методи захисту трубопровідного транспорту можна розділити на чотири основні групи, як наведено на рис.1. Найбільш розповсюдженими і розвинутими методами є метод поляризаційного опору і метод визначення електродного потенціалу.

Окремо всі сучасні методи електрохімічного захисту трубопроводів можна розділити на три підкласи:

– статичні методи, які мають лінійні моделі, придатні для вимірювання параметрів споруди при малих швидкостях корозійного процесу;

– динамічні методи – це нелінійні методи, які придатні для виміру швидкості корозії, тобто при протіканні активних корозійних процесів;

– квазістатичні методи (при незначній динаміці), коли можлива лініризація моделей динамічного характеру.

До динамічних методів відносяться методи під загальною назвою методи поляризаційного опору.

Метод поляризаційного опору має в собі чотири підвиди, як зображено на рис. 2. Метод має високу чутливість, як показано у роботі [1]. Також, в теорії методу поляризаційного опору відрізняють лінійні та нелінійні

поляризаційні методи, зумовлені лінійною та нелінійною залежністю корозійного потенціалу від швидкості корозійного процесу.

Рис. 1. Електрохімічні методи контролю корозійних процесів

Рис. 2. Методи поляризаційного опору

Джерелами помилок, які впливають на точність методу лінійної поляризації є:

– нелінійність поляризаційної кривої в області корозійного потенціалу;

– близькість поляризаційного потенціалу до рівноважних потенціалів спряжених реакцій;

– неточність у визначення коефіцієнтів пропорційності між швидкістю корозії металу та поляризаційним опором;

– швидка спонтанна зміна поляризаційного потенціалу;

– високій омічний опір середовища;

– великий час заряджання подвійного електричного шару [1].

Хоч і теорія методів лінійної та нелінійної поляризації дозволяє враховувати основні джерела помилок, але необхідно враховувати окремо в кожному конкретному випадку вплив помилок на результат вимірювання швидкості корозійного процесу. Взагалі, як наведено у [1], помилки цих

методів не перевищують (10-20) % при параметрах електрохімічних реакцій на практиці.

До статичних методів відносяться методи визначення стану металевих конструкцій по електродному потенціалу, такі, як: метод

В.Ф. Забари, схема вимірювання Пірсона, мостова схема Холера, метод відключення і метод переключення, метод електрохімічного осередку, імпульсний метод, вимірювання потенціалів за допомогою зовнішніх вимірювальних зразків, метод екстраполяції, метод Судрабина, В.І. Глазкова і Н.А. Петрова, І.В. Стрижевського і Э.І. Іоффе, метод Хіклінга, Полака, Луггина-Габера, Н.П. Глазкова, Б.С. Дукова, Б.В. Сидорова, В.А. Ловачева і К.Л. Шамшетдинова , К.Л. Шамшетдинова, В.А. Ловачева, Н.Г. Глазова, Н.К. Тверкоева, метод Воудстага та інші методи.

Класифікація методів визначення електродного потенціалу наведена на рис. 3.

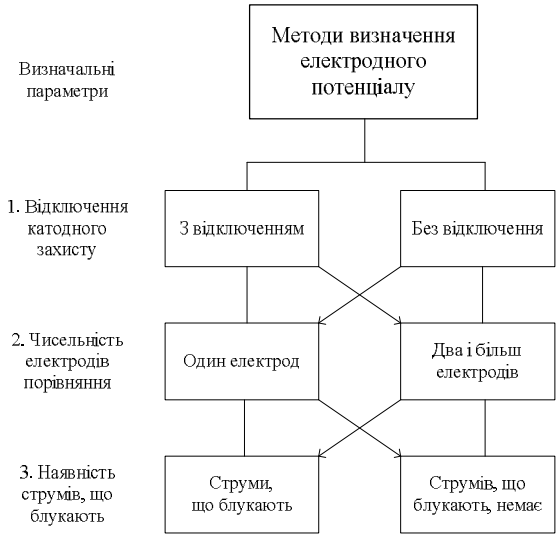


Рис. 3. Класифікація методів визначення електродного потенціалу

Узагальнена схема випробувань для визначання корозійного стану металевих конструкцій по електричному потенціалу (див. рис. 4) поєднує в собі всі перераховані вище методи.

Узагальнена структурна (див. рис. 4) включає: трубопровід; ізольований провідник; джерело струму; $V$ – вольтметр; $A_1$, $A_2$ – амперметри; $ЕП_1$, $ЕП_2$, $ЕП_3$ – електроди порівняння; $З_1$, $З_2$, $З_3$, $З_4$ – додаткові заземлювачі; СКЗ – станцію катодного захисту; $R$ – реостат; $R_1$, $R_2$, $R_3$ – опори між трубопроводом та електродами порівняння; $R`_1$, $R`_2$, $R`_3$ – контрольні опори для зміни значень

струму катодного захисту; $I_{бл.}$ – схематичне зображення струмів, що блукають; $I_{кз.}$ – струм катодного захисту.

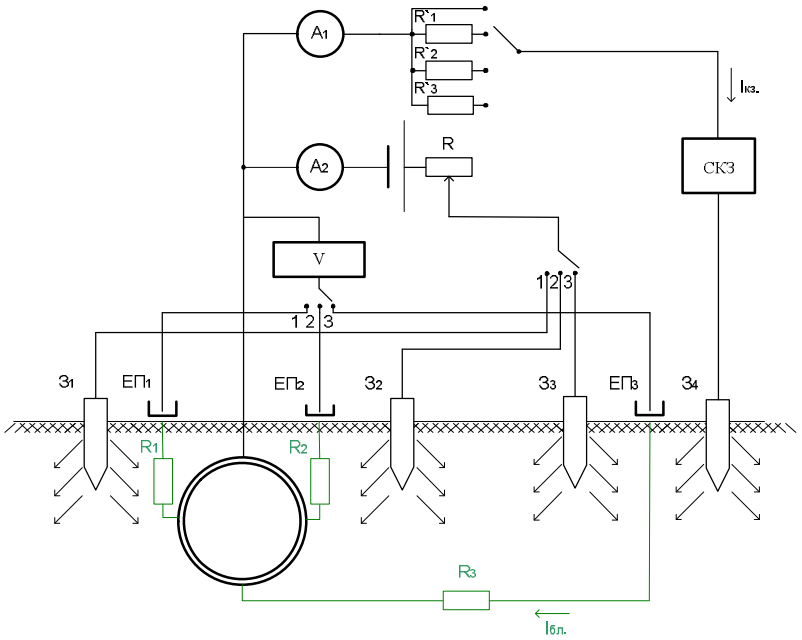


Рис. 4. Узагальнена схема методів визначення електродного потенціалу

До значних переваг методів визначення електродного потенціалу, як показано у роботі [1], відноситься те, що такі методи контролю потенціалу поверхні застосовуються також для оцінки ефективності анодного та катодного захисту, протекторного, інгібіторного та іншого захисту обладнання, тобто там, де використовується конструкційного матеріалу в пасивний стан. На відміну від методів поляризаційного опору, метод визначення стану по електродному потенціалу можна застосовувати в окисно-відновних системах. Цим методом можна отримувати інформацію, якою користуються для запобігання одних з найбезпечніших видів корозійного руйнування, як міжкристалічна, пітингова корозія та корозійне розтріскування. Також, до великих переваг відноситься можливість вимірювати безпосередньо потенціал самого обладнання, чим знімаються обмеження, пов'язані з використанням зондів, умови застосування яких і властивості метала-зразка не завжди тотожні реальним умовам роботи обладнання. Перевага ще полягає у тому, що в деяких випадках можна використовувати частини самої установки як електрод порівняння [1].

Висновок про переваги саме двоелектродної схеми вимірювання підтверджено результатами більш пізніх робіт французьких та американських дослідників. Також, як показано у роботі [1], двоелектродна схема вимірювання має значні переваги в порівнянні з іншими схемами, які мають іншу кількість електродів. Для проведення вимірювань по методу В. Ф. Забари (див. рис. 5) необхідно мати два електроди порівняння, два переносних заземлювача у вигляді металевих штирів будь-якого розміру, цифровий вольтметр із спеціальним алгоритмом роботи, а також провідники [5]. Метод вимірювання дозволяє визначити величину електродного потенціалу в полі струмів, що блукають, величину струму в землі і дефекти ізоляційного покриття трубопроводу.

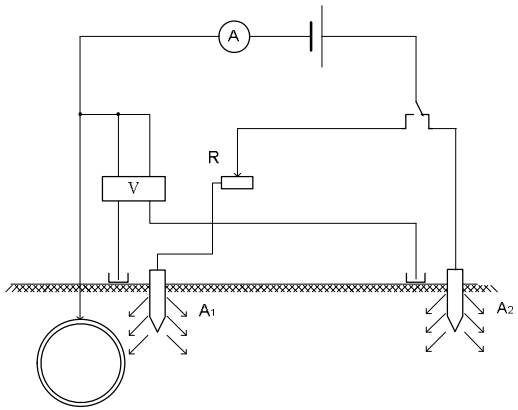


Рис. 5. Двоелектродна схема вимірювання електродного потенціалу

У роботі [6] описаний метод визначення електродного потенціалу в полі дії струмів, що блукають (див. рис.5). Пізніше, у роботі [7], представлена єдина формула для визначення величини електродного потенціалу:

$$j = U_1 - \frac{U_1 - U_2}{1 - \frac{U_2' - U_2}{U_1' - U_1}} = U_1 - \frac{U_1 - U_2}{1 - \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}},$$

де $U_1, U_2, U_1', U_2'$ – виміряні значення потенціалів до і після відключення (перемикання) струму, причому способи виміру величин, що входять у це рівняння, можуть бути різними.

Підтверджена актуальність досліджень для вдосконалення електрохімічних методів, оцінки та прогнозування корозійних процесів, які запобігають руйнуванням трубопроводів. Розглянуті сучасні електрохімічні методи та приведена їх класифікація. Наведена узагальнена схема випробувань по методу визначення електродного потенціалу, яка спрощує аналіз і дозволяє

відразу побачити що собою являють схеми всіх цих методів. Розглянуті і підтверджені переваги методів визначення стану трубопроводів по електродному потенціалу та, особливо із них, двоелектродної схеми вимірювання.

**Список літератури: 1.** *Чвірук В.П., Поляков С.Г., Герасименко Ю.С.* / Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – Київ, Видавничій дім «Академперіодика» НАН України, 2007.-321с. **2.** *Рябов В.С.* / Еще раз об измерении поляризационного потенциала на защищенных с помощью ЭЗУ стальных подземных трубопроводах. // Практика противокоррозионной защиты. – 2001 - №2(20), с. 58-60. **3.** *Фрейман Л.И. и др.* / Дополнение к сравнительному анализу методов измерений поляризационного потенциала. // Практика противокоррозионной защиты. – 2002 - №1(23), с. 50-60. **4.** *Глазов Н.П. и др.*/ Об измерениях поляризационного потенциала на подземных стальных трубопроводах. // Практика противокоррозионной защиты. – №2, 2000, с. 24-29. **5.** *Забара В.Ф., Соколов А.С., Забара А.В.* / Расчет и измерение потенциалов трубопроводов // Харьков Изд. «Харьков» – 1992. – 131 с. **6.** *Забара В.Ф., Лур`є А.І.* / Поляризаційний потенціал підземних споруд // Нафт. і газова пром-ть. –1995. №1, с. 42-44. **7**. *Забара В.Ф., Блохин В.И.* / Измерения величины поляризационного потенциала методом выключения и переключения. // Практика противокоррозионной защиты. – 2002. - №3(25), с. 55-60. **8**. *Харебов В.Г., Попков Ю.С.* Автоматизированные системы комплексного коррозионного мониторинга и перспективы применения метода АЭ в их составе. – «В мире неразрушающего контроля», №3 (41), 2008. **9.** *Розгонюк В.В., Гужов Ю.П., Кузьменко Ю.О., Шишківський В.А.* / «Технічна експлуатація систем захисту від корозії магістральних трубопроводів». Виробничо-практичне видання. Київ, «Росток», 2000. – 285с. **10.** *Жопакова Ф.Н., Кохановський И.Н.* / «Методы теории потенциала в задачах электрозащиты от коррозии». Ташкент, Изд. «Фан» Узбекской ССР, 1988. **11.** Академия Наук Украинской ССР. «Прогрессивные материалы, технологические процессы и оборудование для защиты метал лов от коррозии», Киев, Наукова думка, 1990. **12.** *Остапенко В.Н., Жопакова Ф.Н.* / «Методы расчета электрических полей при электрохимической защите металлических сооружений от коррозии», Киев, «Наукова думка», 1980. **13.** *А.П. Бутырский* / «Опыт защиты подземных сооружений от коррозии». / Уфа. Башкирское книжное издательство. - 1988. **14.** *Стрижевский И.В.* / «Подземная коррозия и методы защиты. Москва, «Металлургия», 1986. **15.** *Забара В.Ф., Блохин В.И.* / Анализ схем измерения поляризационного потенциала. // Практика противокоррозионной защиты. – 2003 - №1(27), с. 40-44. **16.** *Киченко С.Б* . / Результаты выявления связи между параметрами электрических измерений и реальным состоянием изоляционного покрытия металла подземных трубопроводов. // Практика противокоррозионной защиты. – 2001 - №1(19) - 2001, с. 30-38. **17.** *Киченко С.Б.* / Об одном из методов оценки степени опасности локальных дефектов на поверхности трубопровода. // Практика противокоррозионной защиты. – 2001 - №1(19), с. 47-51. **18.** *Забара В.Ф.* / Вимірювання поляризаційного потенціалу. // Нафтогазова промисловість. – 1997: №2, с. 40-41. **19.** *Джола Р.М.* / Методи і засоби електромагнітних обстежень захисту від корозії підземних трубопроводів. // Дис. д-ра. техн. наук: 05.11.16 – Львів, 2002, 365с. **20.** Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Москва. – Стандартинформ. – 2006.

*Поступила в редколегію 05.12.2008*