



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94798 (13) C2

(51) МПК

G01R 19/08 (2006.01)

C23F 13/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ СТРУМУ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ НА ДІЛЯНЦІ ПІДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДУ

1

(21) a200909872

(22) 28.09.2009

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл.№ 11, 2011 р.

(72) ДЖАЛА РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

(73) ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМ.Г.В.КАРПЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НА-
УК УКРАЇНИ

(56) UA 77831 C2; 15.01.2007

SU 1370626 A1; 30.01.1988

SU 1730602 A1; 30.04.1992

RU 2036249 C1; 27.05.1995

DE 3101487 A1; 19.11.1981

US 6160403; 12.12.2000

JP 9003668 A; 07.01.1997

(57) 1. Спосіб визначення густини струму захисту від корозії на ділянці підземного трубопроводу, за яким вимірюють значення сили струму, що протікає по трубопроводу, на початку і кінці контрольованої ділянки трубопроводу, визначають площу S поверхні підземного трубопроводу на цій ділянці та обчислюють відношення різниці виміряних значень струму до площі S , який відрізняється тим,

2

що джерело струму захисту підключають до трубопроводу за межами контрольованої ділянки, вимірюють безконтактним методом значення J_1 та

J_2 змінного струму на початку і кінці контрольованої ділянки трубопроводу відповідно, додатково встановлюють у ґрунт в зоні контрольованої ділянки один електрод біля трубопроводу і другий електрод на відстані від трубопроводу та вимірюють постійну U_g та змінну V_g напруги у ґрунті між

двома електродами, а густину струму захисту i_{pr} обчислюють за формулою

$$i_{pr} = \frac{|J_1 - J_2| U_g}{S V_g},$$

при цьому за знаком постійної напруги U_g визначають напрям струму захисту.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що додатково струм на виході джерела, що діє в зоні контролю, модулюють сигналом низької частоти.

Винахід належить до технічної фізики, призначений для визначення густини струму катодного захисту від корозії підземних сталевих трубопроводів і може бути використаний при їх обстеженнях, неруйнівному контролі і налагодженні електрохімічного захисту (катодної чи анодної поляризації) підземних металевих споруд, струмопровідних комунікацій.

Відомий спосіб визначення густини струму поляризації металевого виробу в електропровідному середовищі (зразок металу в електроліті, підземна чи підводна металева конструкція-споруда), за яким міряють силу електричного струму на виході джерела поляризації - установки катодного (чи анодного) захисту, підключеної до металу виробу і заземлення, та (згідно з означенням) відносять виміряну силу струму до площі поверхні виробу. За таким способом для виробів (зразків) із заданими розмірами отримують деяку середню оцінку густини струму

по всій поверхні виробу. Але для протяжних підземних трубопроводів [1]-с. 65, формула (П.10), важко встановити, по якій довжині труби (поверхні) розподілений струм (довжину зони дії джерела поляризації) та неможливо визначити його густину (розподіл) на різних ділянках трубопроводу.

Відомий спосіб розрахунку розподілу густини струму вздовж трубопроводу [2]-с. 190-208, потребує задавання геометричних параметрів джерела струму і трубопроводу та опору ґрунту і стану ізоляції трубопроводу (перехідного опору), який апріорі невідомий. Тому цей спосіб використовують лише для оцінок під час проектування електрохімічного захисту трубопроводів, але він не придатний для практичних обстежень підземних трубопроводів.

Найближчим до винаходу є спосіб визначення середньої поверхневої густини електричного струму витікання з ділянки кабелю [3]-с. 234-235, за яким визначають напрями і міряють значення

(13) C2

(11) 94798

(19) UA

сили струму I_A і I_B , що проходить по оболонці кабелю на кінцях цієї ділянки в точках А і В, густину струму витікання визначають за формулою

$$i = K(I_A \pm I_B) / qS, \quad (1)$$

де "+" - якщо струми на кінцях ділянки течуть назустріч один одному; "-" - якщо струми проходять в одному напрямі, причому $I_A > I_B$; S - загальна площа поверхні кабелю на довжині між точками А і В; q - коефіцієнт торкання приймають у середньому рівним 0,5 для броньованих кабелів, укладених у ґрунті, і 0,25 для свинцевих кабелів, прокладених у каналізації; K - коефіцієнт часового навантаження найближчого джерела струму (тягової підстанції).

Недоліком цього способу (прототипу) є методичні і технічні труднощі визначення напрямку і сили струму на кінцях ділянки підземного трубопроводу (кабелю). Так за контактним методом падіння напруги [3]-с. 234, силу струму, що протікає по трубопроводу, визначають відношенням виміру падіння напруги на частині трубопроводу між двома точками, які рознесені на деяку віддаль l вздовж трубопроводу, до опору труби між цими точками, який додатково вимірюють або обчислюють за питомим електричним опором матеріалу труби, її діаметром і товщиною стінки. Аналогічно, за методом компенсації [3] -с. 233-234, підключають мілівольтметр до труби у двох точках на віддалі l і за його показаннями визначають напрям струму I_1 в трубі, додатково через другу пару контактів до труби підключають джерело постійного струму I_2 , направлено назустріч вимірюваному I_1 , змінюють силу струму I_2 , добираючись нульових показань мілівольтметра, вимірюють $I_1 = I_2$ в момент компенсації. Ці два контактні методи потребують приєднання вимірювачів до металу (забезпечення контактів з металом підземного з ізоляційним покривом трубопроводу), що потребує значних трудозатрат, іноді недопустиме з технологічних причин, обмежує оперативність контролю і непридатне для широкого використання при обстеженнях підземних трубопроводів. Безконтактні методи забезпечують можливість визначення змінного струму, що протікає вздовж підземного трубопроводу, за вимірами магнітного поля, створеного цим струмом, що дає можливість визначати витікання змінного струму на ділянці підземного трубопроводу [4]. Проте змінний струм не захищає металу від корозії, а безконтактні вимірювання постійного струму підземного трубопроводу [5] ускладнені наявністю потужного геомагнітного поля, для усунення впливу якого потрібні спеціальні датчики і кропітка методика їх орієнтації відносно трубопроводу і магнітного поля Землі [5]; тому відомі безконтактні методи також мало придатні для прямого вимірювання розподілу постійного струму поляризації підземних трубопроводів.

Технічною задачею винаходу є створення процедури (послідовності дій) визначення густини струму захисту від корозії ділянки підземного трубопроводу шляхом вибору методу мірвання струму, вимірюваних сигналів та розрахункової формули (алгоритму), з метою контролю розподілу витрат струму захисту від корозії.

Для вирішення поставленої задачі вимірюють значення сили струму, що протікає по трубопроводу на початку і кінці ділянки трубопроводу (джерело струму захисту підключене до трубопроводу за межами ділянки, яку контролюють), визначають площу S поверхні підземного трубопроводу на цій ділянці, обчислюють відношення різниці вимірних значень струму до площі S , згідно з винаходом, безконтактним методом вимірюють значення J_1 та J_2 змінного струму, що протікає по трубопроводу, додатково встановлюють у ґрунт перший електрод біля труби (поблизу трубопроводу, на поверхні землі-ґрунту над трубопроводом) і другий електрод на відстані від траси трубопроводу, міряють постійну U_g та змінну V_g електричні напруги у ґрунті між двома електродами, густину струму захисту від корозії підземного трубопроводу обчислюють за формулою

$$i_{pr} = \frac{|J_1 - J_2| U_g}{S V_g}, \quad (2)$$

за знаком постійної напруги U_g визначають напрям струму поляризації.

Додатково, з метою забезпечення можливості безконтактних вимірювань, струм на виході джерела захисту (поляризації), що діє в зоні контролю, модулюють сигналом низької частоти.

Суттєвими ознаками заявленого способу є безконтактні мірвання змінного струму, встановлення електродів на поверхні ґрунту, мірвання постійної і змінної електричних напруг у ґрунті, формула обчислення значення густини струму, визначення напрямку струму захисту, додаткова модуляція струму джерела.

Названі суттєві ознаки заявленого способу і їх сукупність не відомі ні в аналогах, ні у прототипі, отже відповідають критеріям "новизна" і "суттєві відмінності".

Запропонована нова формула (2) для визначення густини струму захисту (поляризації) є математичним виразом заявленого способу. На відміну від прототипу (1) значення струму захисту згідно з (2) визначають за безконтактними вимірами змінного струму та відношенням постійної і змінної напруг у ґрунті, яке дорівнює відношенню постійного (захисного) і змінного струмів, що натікають на ділянці трубопроводу з ґрунту. Напрямок струму захисту визначається за знаком (поляристю) постійної напруги в ґрунті.

Безконтактні мірвання змінного струму відомі в техніці обстежень стану захисного покриття підземних трубопроводів [5], проте безконтактні мірвання струмів трубопроводу для знаходження натікаючого (витікаючого) струму з метою визначення густини струму захисту (поляризації) не відомі, отже відповідають критеріям "новизна" і "суттєві відмінності".

Встановлення електродів у ґрунт (зокрема, на поверхні ґрунту) та мірвання постійної електричної напруги відомі у техніці визначення потенціалів підземного трубопроводу [1] а мірвання змінного струму використовують для пошуку пошкоджень ізоляції підземного трубопроводу [1, 3], проте їх застосування для визначення густини струму захисту не відомі. Визначення напрямку струму на

ділянці електричного кола відоме за полярністю напруги на цій же ділянці, проте використання полярності напруги в ґрунті для визначення напрямку струму захисту підземного трубопроводу не відоме. Отже ці ознаки відповідають критерію "суттєві відмінності" заявленого способу від аналогів і прототипу.

Модуляцію струму широко використовують у радіотехніці для передавання і розділення сигналів, проте використання модуляції для визначення густини струму захисту підземного трубопроводу не відоме, що дає підставу вважати відповідність критерію "суттєві відмінності" заявленого способу від аналогів і прототипу.

Запропонований спосіб пояснюють схеми, показані на рисунку, де показано розміщення точок спостереження на трасі (вид зверху) і схема підключення джерела струму до трубопроводу.

На фігурі представлені підземний трубопровід Т, джерело струму захисту С, підключене до заземлення А і труби В, точки D і E міряння струмів J_1 і J_2 , віддаль $DE=l$ - довжина ділянки трубопроводу, яку контролюють, точки М і N (та N_2) розміщення електродів для вимірювання постійної і змінної напруг U_g і V_g .

Фізичною основою заявленого способу є наявність у струмі захисту від корозії, який подають у підземний трубопровід від установки катодного захисту (УКЗ), постійної і змінних складових (гармонік) та пропорційності між напругою і струмом, яка за законом Ома визначає опір провідника. Значення постійної і змінної напруг у ґрунті міряють на одній і тій же ділянці електричного кола, тобто на одному і тому ж опорі. При цьому міряють змінну напругу низької частоти (наприклад, 100 Гц), коли справедливе квазістатичне наближення і реактивними складовими (індуктивністю і ємністю) цієї ділянки електричного кола можна знехтувати. Тому згідно з законом Ома відношення виміряних напруг дорівнює відношенню постійного (захисного) і змінного струмів, що натікають на ділянці траси з ґрунту в трубопровід.

Для захисту підземних трубопроводів від корозії найчастіше використовують джерела струму захисту - УКЗ чи гальванічні протектори [3]. УКЗ - випрямлячі, які живляться від електромережі (змінним з частотою 50 Гц струмом), і подають на трубопровід випрямлений струм, у якому є пульсації - гармоніки з частотами 100 Гц, 200 Гц і т.д. Якщо трубопровід захищають гальванічним протектором, то для визначення густини струму, за даним способом, додатково струм на виході протектора модулюють змінним сигналом низької частоти (наприклад, 100 Гц).

Постійна i_{pr} та змінна j складові струму УКЗ, що натікає з ґрунту в трубопровід на ділянці, створюють на поверхні землі між точками М і N постійну U_g і змінну V_g електричні напруги, пропорційні відповідним складовим струму

$$i_{pr}/j = U_g/V_g. \quad (3)$$

Безконтактним методом міряють змінні складові струмів J_1 і J_2 , що протікають по трубопроводу у точках D і E. Визначають віддаль l між точками D і E вздовж трубопроводу (для цього

використовують рулетку, метр чи інший пристрій) і за відомим діаметром d трубопроводу визначають площу його поверхні на даній ділянці $S=\pi dl$.

Густину змінного струму, що натікає від джерела струму захисту на ділянці трубопроводу, визначають за різницею вимірів струмів, що протікають по трубопроводу на початку і кінці ділянки DE

$$j = |J_1 - J_2| / S. \quad (4)$$

За виразами (3) і (4) отримуємо формулу (2) для визначення густини струму катодного захисту підземного трубопроводу.

Для застосування даного способу потрібно, щоб неоднорідність поля заземлення А джерела струму не проявлялись у зоні контролю DNE; для цього А має бути достатньо віддалене від зони контролю $AB \gg MN$ (або $BD \gg MN$), що практично забезпечується при використанні УКЗ.

Якщо задані коефіцієнт торкання q трубопроводу до ґрунту та коефіцієнт часового навантаження K джерела струму, то вони можуть бути враховані при оцінках розподілу струму захисту аналогічно формулі (1).

Безконтактні міряння змінного струму здійснюють апаратурою типу БІТ-КВ чи БВС [6], яка дає можливість з поверхні землі визначати місце розташування підземного трубопроводу та величину (амплітуду) змінного струму, що протікає по трубопроводу (за створеним струмом магнітним полем). Для міряння електричних напруг у ґрунті використовують електроди (мідно-сульфатні, що не поляризуються) та прилад типу OPT+B2 [6], який містить у собі вольтметри постійної і змінної (з частотою вимірюваної змінної складової струму) напруг.

У випадках використання гальванічного протектора (чи УКЗ з постійним струмом), на з'єднанні його з трубопроводом підключають модулятор, який забезпечує (крім постійного струму джерела захисту) додаткову змінну складову (наприклад, 100 Гц) для безконтактних вимірювань струму.

Приклад конкретного виконання. Вибирають ділянку підземного трубопроводу на гілці діючої УКЗ, підключеної до трубопроводу і заземлення, віднесеного від трубопроводу на відстань АВ (фіг.), яка має бути достатньою, щоб виключити вплив заземлення А на розподіл поля у зоні контролю (DNE, фіг.). При розносі електродів $MN < 10$ м достатньо $AB > 50$ м. Для УКЗ на магістральних трубопроводах, як правило $AB > 400$ м, отже ця умова виконується. Точка В дренажу струму УКЗ має бути за межами ділянки трубопроводу, яку контролюють. Для визначення місцезнаходження трубопроводу і вимірювань змінної складової струму і напруги використовують другу гармоніку 100 Гц випрямленого пульсуючого струму УКЗ.

Міряють (апаратурою типу БІТ чи БВС) струми J_1 та J_2 , що протікають по трубопроводу в точках D та E (фіг.) у зоні дії УКЗ, підключеної до труби і заземлення. Міряють віддаль $l = DE$ - довжину ділянки, використовуючи рулетку чи сажень.

Встановлюють перший електрод над трубою у точці М. Другий електрод відносять перпендикулярно трубопроводу і встановлюють у точці N на відстані MN, яку доцільно вибирати не меншою

глибини h залягання трубопроводу (практично достатньо рознести електроди на відстань $MN < 6h$). Міряють напруги V і U між електродами M і N на нульовій частоті і на частоті змінної складової (100 Гц) струму джерела. Використовують вимірювач потенціалу і селективний вольтметр (прилад ОРТ+В2) або апаратуру типу БІТ-КВ, настроєні на другу гармоніку 100 Гц випрямленої пульсуючої напруги УКЗ.

Другий електрод додатково встановлюють у точці N_2 з другого боку траси і повторюють вимірювання напруг. Зіставлення вимірів напруг з двох боків траси дають можливість виявляти наявність блукаючого поперек траси струму і врахувати його вплив на визначення густини струму захисту.

У результаті вимірювань отримали: $J_1 = 0,604$ А, $J_2 = 0,596$ А, $I = 25$ м, $U_g = -11$ мВ, $V_g = 5$ мВ. Діаметр трубопроводу за його паспортними даними $d = 1,4$ м. Визначають різницю вимірюваних струмів - величину натікання змінної складової струму УКЗ на ділянці трубопроводу $J_1 - J_2 = 8$ мА. Площа поверхні трубопроводу на даній ділянці $S = 3,14 \cdot 1,4^2 \cdot 25 = 110$ м². Густина змінної складової струму $j = 8/110 = 0,073$ мА/м². Густина струму захисту від корозії на ділянці підземного трубопроводу обчислюють за формулою (2)

$$i_{pr} = \frac{8}{110} \cdot \frac{-11}{5} = -0,16 \frac{\text{мА}}{\text{м}^2}.$$

Від'ємний знак U_g дає від'ємний знак густини струму захисту: струм катодного захисту натікає з ґрунту на поверхню трубопроводу.

Практичне використання запропонованого способу передбачає обстеження ефективності діючої на трубопроводі УКЗ на предмет визначення розподілу вздовж траси густини струму захисту від корозії. Збільшення густини струму захисту на ділянці свідчить про зниження опору ізоляції трубопроводу [2]; такі місця є корозійно небезпечними і потребують першочергового контролю поляризації. Це підвищує оперативність обстежень і зменшує об'єм робіт, необхідних для контролю стану протикорозійного захисту на різних ділянках підземних трубопроводів. За захисною густиною струму контролюють стан захисних ізоляційних покриттів підземних трубопроводів. Зокрема, для даного вище прикладу визначена густина струму $i_{pr} = -0,16$ мА/м², як показали вимірювання, забезпечує захисний потенціал трубопроводу $U_{T3} = -0,91$ В. Згідно з критерієм якості ізоляції за захисною густиною струму [7] - с. 176, при $i_{pr} = 0,05 \dots 0,20$ мА/м² якість ізоляційного покриття на ділянці підземного трубопроводу добра.

Безконтактний вимірювач струму з вольтметром (апаратура типу БІТ-КВ та прилад ОРТ+В2) забезпечують пошук трубопроводу і необхідні вимірювання, при цьому мірвання струму в різних точках підземного трубопроводу здійснюють безконтактно, а контактні мірвання напруг на поверхні

землі здійснюють без підключень до трубопроводу (лише з використання електродів, які встановлюють у ґрунт). Оператори проводять вимірювання послідовно у різних точках вздовж трубопроводу і визначають густину струму захисту від корозії у різних місцях траси - на різних ділянках підземних трубопроводів.

За вимірами визначають розподіл густини струму захисту і вздовж траси та на різних гілках трубопроводів, що характеризує ефективність роботи УКЗ і стан ізоляційних покриттів на різних ділянках траси трубопроводу, дає можливість виявляти корозійно небезпечні ділянки з метою налагодження відповідного захисту для запобігання корозійним пошкодженням.

Переваги запропонованого способу наступні. Густина струму захисту від корозії визначають на ділянці підземного трубопроводу, а не по всій зоні дії джерела (як за аналогом), та без підключень вимірювача до труби (на відміну від прототипу). Безконтактні мірвання змінної складової струму забезпечують вилучення впливу геомагнітного поля, а контактні мірвання постійної і змінної напруг на поверхні землі дають відношення відповідних складових струму для визначення постійної складової струму захисту від корозії.

Джерела інформації, прийняті до уваги при експертизі:

1. Трубопроводы стальные магистральные. Загальні вимоги до захисту від корозії / ДСТУ 4219-2003.- К.: Держспоживстандарт України, 2003. - 69 с.
2. Красноярский В.В., Цикерман Л.Я. Коррозия и защита подземных металлических сооружений. - М.: Высш.шк., 1968. - 296 с.
3. Защита металлических сооружений от подземной коррозии: Справочник / Стрижевский И.В., Зиневич А.М., Никольский К.К. и др. -2-е изд. перераб. доп. - М.: Недра, 1981. - 293 с.
4. А. с. 1370626, СССР. G01R31/02. Способ бесконтактного измерения тока утечки на участке подземного трубопровода / Р.М. Джала, Л.П. Дикмарова, Е.Г. Зарицкий, Л.Я. Мизюк - Опубл. 30.01.88, Бюл. 4.
5. А. с. 1730602, СССР. МКИ G01R19/00. Способ определения постоянного тока в цилиндрических металлопроводах / Р.М. Джала, Л.П. Дикмарова, Б.Я. Вербенец, В.Ю. Корниенко, Л.Я. Мизюк - Опуб. 30.04.92. Бюл. № 16.
6. Методи і прилади для пошуку місць корозії та обстежень підземних трубопроводів і споруд / Р.М. Джала, Б.Я. Вербенец // Міжнародна виставка "Корозія": Каталог - Львів: ФМІ НАНУ, 2008 - С. 36-37.
7. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В.В. Розгонюк, Ю.П. Гужов, Ю.О. Кузьменко, В.А. Шишківський. - К: Росток, 2000. - 286 с.

