



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42313 (13) A

(51) 7 G01R27/18, C23F13/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТУ НА ТРАСІ ПІДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДУ

(21) 2001010058

(22) 03.01.2001

(24) 15.10.2001

(33) UA

(46) 15.10.2001, Бюл. № 9, 2001 р.

(72) Джала Роман Михайлович

(73) ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В. КАРПЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, UA

(57) 1. Спосіб визначення опору ґрунту на трасі підземного трубопроводу, за яким один контакт джерела струму підключають до заземлення, міряють напругу U між двома електродами, встановленими на поверхні ґрунту, питомий опір ґрунту обчислюють за результатами вимірів, який **відрізняється** тим, що другий контакт джерела струму підключають до труби, визначають проекцію осі труби на поверхню землі і глибину h залягання труби, встановлюють перший електрод над трубою, другий електрод відносять від траси і встановлюють на лінії, яка проходить через перший електрод перпендикулярно трасі, міряють величини струмів J_1 і J_2 , що протікають по трубопроводу у двох точках, рознесених вздовж трубопроводу у протилежні від першого електрода боки, міряють відстань a між електродами та віддаль l між точ-

ками мірвання струму, питомий опір ґрунту обчислюють за формулою

$$\rho = \frac{U}{J} \cdot \frac{2\pi}{\ln(1 + a^2 / h^2)},$$

де $J = (J_1 - J_2) / l$ - лінійна густина витікаючого струму

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково змінюють величину струму джерела, проводять другі виміри напруги і струмів, визначають різниці попередніх і других вимірів, приймають отримані різниці (зміщення) за результати вимірювань напруги і струмів, використовують їх для обчислення опору ґрунту

3. Спосіб за п. 1, яким **відрізняється** тим, що другий електрод додатково переносять і встановлюють на протилежному боці траси на відстані a від першого електрода, міряють друге значення напруги, визначають середнє значення двох напруг, яке використовують для обчислення опору ґрунту

4. Спосіб за пп. 1, 2, 3, який **відрізняється** тим, що як джерело струму використовують станцію катодного захисту підземного трубопроводу

5. Спосіб за пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що сили струмів у підземному трубопроводі міряють безконтактним методом

Винахід відноситься до технічної фізики і призначений для визначення електропровідності ґрунту, в якому залягає трубопровід, що є одним з показників корозійної активності середовища, і може використовуватись при неруйнівному контролі корозійного стану підземних металевих споруд, струмопровідних комунікацій

Відомий спосіб вимірювання опору ґрунту, що базується на класичному визначенні питомого електричного опору матеріалу за законом Ома і полягає у розміщенні проби ґрунту між плоскопаралельними електродами [1]. Через пробу ґрунту пропускають електричний струм, за величиною струму, напругою між електродами, товщиною і площею проби визначають питомий опір ґрунту

Недоліком відомого способу є його лабораторний характер, при взятті проби порушуються щільність, вологість і структура ґрунту, що спричинює зміни опору. Крім цього опір ґрунту неоднаковий на різних глибинах, а відбір проб з різних глибин трудомісткий і мало придатний для багатовисловних замірів при обстеженні протяжних трас трубопроводів

Найближчим до винаходу є спосіб чотирьох електродів [2], які розміщують на поверхні землі вздовж прямої лінії за схемою Шлюмберже. Джерело струму підключають до крайніх електродів А і В, міряють силу струму I_{AB} , що протікає через ці електроди, та напругу U_{MN} між середніми електродами М і N. При однакових відстанях a між електродами питомий опір ґрунту визначають [2] за формулою

$$\rho = 2\pi a \frac{U_{MN}}{I_{AB}} \quad (1)$$

UA (11) 42313 (13) A

Відстань між електродами тут характеризує глибину геоелектричного перерізу, що контролюється, практично її приймають співмірною подвійній глибині залягання трубопроводу

Недоліком цього способу (прототипу) є необхідність розміщення електродів на деякій відстані від підземного трубопроводу (щоб виключити вплив металевої труби на розподіл струму в ґрунті, що спотворює результат вимірювання опору за відомим способом). При цьому визначають так званий позірний опір (деяке середнє значення питомого опору шару ґрунту) збоку від трубопроводу. Така характеристика може значно відрізнятись від опору ґрунту що безпосередньо оточує трубопровід, оскільки копання траншеї і засипка труби при спорудженні змінює структуру ґрунту.

Технічною задачею винаходу є створення процедури (послідовності дій) вимірювання опору ґрунту безпосередньо на трасі підземного трубопроводу шляхом вибору джерела сигналу, точок спостереження, методу міряння струму та розрахункової формули (алгоритму), з метою оцінки корозійної активності середовища, що оточує трубопровід.

Для вирішення поставленої задачі підключають один контакт джерела струму до заземлення, встановлюють на поверхні ґрунту два електроди, міряють напругу між електродами, питомий опір ґрунту обчислюють за результатами вимірів, додатково другий контакт джерела струму підключають до труби, визначають проекцію осі труби на поверхню землі, визначають глибину h залягання осі труби, встановлюють перший електрод над трубою, другий електрод встановлюють на лінії, яка проходить через перший електрод перпендикулярно трасі, міряють відстань a між електродами, міряють величини струмів J_1 і J_2 , що протікають по трубопроводу у двох точках, рознесених на віддаль l вздовж трубопроводу, обчислюють питомий опір ґрунту за формулою

$$p = \frac{U}{J} \cdot \frac{2\pi}{\ln(1 + a^2/h^2)}, \quad (2)$$

де $J = (J_1 - J_2)/l$ - лінійна густина витікаючого струму

Додатково, з метою виключення похибок спричинених завадонесучими сторонніми джерелами і блукаючими струмами, змінюють величину струму джерела, проводять другі виміри напруги U' і струмів J_1' та J_2' у тих же точках, визначають різниці двох (відповідно попередніх і других) вимірів $\Delta U = U' - U$, $\Delta J_1 = J_1' - J_1$, $\Delta J_2 = J_2' - J_2$, приймають отримані різницеві значення за результати вимірювань напруги і струмів та використовують їх для обчислення опору ґрунту

$$p = \frac{\Delta U}{\Delta J} \cdot \frac{2\pi}{\ln(1 + a^2/h^2)}, \quad (3)$$

де $\Delta J = \Delta J_2/l = (\Delta J_1 - \Delta J_2)/l$

Додатково, з метою зменшення можливого впливу неоднорідностей середовища та інших підземних споруд, переносять і встановлюють другий електрод на протилежному боці траси на відстані

$a_2 = a$ від першого електрода (симетрично відносно проекції осі труби на поверхню землі), міряють друге значення напруги U_2 , визначають середнє значення двох (попереднього і другого вимірів) напруг $U_c = (U_2 + U)/2$, яке використовують для обчислення опору ґрунту за формулою (2)

З метою спрощення процедури збудження зондуючого сигналу, в якості джерела струму використовують станцію катодного захисту (СКЗ) підземного трубопроводу.

Для зменшення трудоемності і підвищення оперативності обстежень, струми підземного трубопроводу міряють безконтактним методом.

Суттєвими ознаками даного способу є підключення джерела тестуючого струму до трубопроводу, розміщення електрода над трубою, визначення лінійної густини струму, що витікає з трубопроводу в ґрунт на ділянці контролю, формула (алгоритм) для обчислення питомого опору ґрунту, а також зміна величини тестуючого струму з повторними міряннями струмів і напруги, встановлення другого електрода з різних боків траси і визначення середньої напруги, використання СКЗ як джерела тестуючого струму і безконтактні міряння струмів трубопроводу для визначення опору ґрунту.

Названі суттєві ознаки даного способу і їх сукупність не відомі ні в аналогів ні у прототипа, отже відповідають критеріям "новизна" і "суттєві відмінності".

Пропонована нова формула для визначення питомого опору ґрунту отримана на основі результатів аналізу розподілу електричного поля струму, що витікає з трубопроводу в ґрунт (або натікає з ґрунту в трубопровід) [3].

Визначення витікаючого струму на ділянці трубопроводу за різницею струмів, що протікають по трубопроводу на кінцях ділянки, відоме в техніці корозійних обстежень (див [2]). Для міряння струму в трубопроводі (без розриву кола) відомі контактні методи падіння напруги і компенсації [2], які потребують підключення до труби не менше ніж у двох точках, що у принципі, можливо але трудоемно і практично не прийнятне для вирішення поставленої задачі з причин відсутності достатньої кількості контактів вздовж траси. Безконтактні вимірювачі струмів [4] створені і використовуються, зокрема, для контролю ізоляції, проте безконтактні міряння струмів трубопроводу для знаходження витікаючого струму з метою визначення опору ґрунту не відомі, отже відповідають критеріям "новизна" і "суттєві відмінності".

Процедура зміни тестуючого сигналу і використання для подальших обчислень різницевих значень (приростів, зміщень) відомі у вимірювальній техніці, проте ці ознаки не входили у процедуру аналогів і прототипу для визначення опору ґрунту, що дає підставу вважати відповідність критерію "суттєві відмінності" заявленого способу від аналогів і прототипу.

Пропонований спосіб пояснюють схеми, показані на фіг. 1 і 2. На фіг. 1 показано розміщення точок спостереження на трасі (вид зверху) і схема підключення джерела струму до трубопроводу. На фіг. 2 - схема вимірювання напруги на поверхні ґрунту над трубопроводом.

На фігурах представлені підземний трубопровід Т, джерело струму С підключене до заземлен-

ня А і труби В (фіг. 1), точки D і E міряння струмів J_1 і J_2 , віддаль $DE=l$, точки M і N (та N_2) розміщення електродів для міряння напруги U (фіг. 2), відстань між електродами а, глибина залягання осі труби h

Фізичною основою способу є пропорційність між напругою і струмом, яка за законом Ома визначає опір провідника. Струм, J_s , що витікає в ґрунт з ділянки трубопроводу довжиною l, створює на поверхні землі між точками M і N електричну напругу, яка описується [3] формулою

$$U = \frac{J_s \rho}{2\pi l} \ln \left(1 + \frac{a^2}{h^2} \right) \quad (4)$$

Лінійну густину витікаючого струму (на одиницю довжини трубопроводу) визначають за різницею струмів, що протікають по трубопроводу на початку і кінці ділянки DE

$$J = J_s l = (J_1 - J_2) / l \quad (5)$$

За виразами (4) і (5) отримуємо формулу (2) для визначення питомого опору ґрунту

Вважається, що на ділянці DE лінійна густина струму J постійна і оточуючий ґрунт однорідний вздовж траси. Практично матимемо деякі середні значення вимірюваних величин і непрямым (опосередкованим) методом за формулою (2) отримуємо середнє значення питомого опору ґрунту який оточує трубопровід

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 СКЗ

Як джерело сигналу за даним способом можна використовувати постійний або змінний з низькою частотою (не більшою 1000 Гц, щоб уникнути скин-ефекту) струми. Підземні трубопроводи обладнані установками катодного захисту від корозії (УКЗ), струми яких можуть бути використані при вимірюванні опору ґрунту за даним способом. Зокрема, станції катодного захисту (СКЗ) з анодним заземленням А подають на трубопровід випрямлений від електромережі (пульсуючий) струм, в якому є постійна і змінні складові. При відсутності СКЗ застосовують генератор струму

Безконтактні міряння струму (БМС) здійснюють апаратурою типу БІТ-КВ, яка дає можливість з поверхні землі визначати величину змінного струму, що протікає по трубопроводу (по створеному струмом магнітному полю [4]), одночасно визначають місце і глибину h залягання осі трубопроводу. Додатково використовується вольтметр для міряння напруги

Приклад конкретного виконання

Підключають джерело зондуючого струму С до трубопроводу і заземлення А (фіг. 1), віднесеного від трубопроводу на відстань АВ, практично використовують СКЗ. Для пошуку трубопроводу і вимірювань використовують другу гармоніку 100 Гц випрямленого пульсуючого струму СКЗ. Відстань АВ має бути достатньою щоб виключити вплив за-

землення А на розподіл поля у зоні контролю (DNE, фіг. 1). При розності електродів $MN < 10$ м достатньо $AB > 50$ м. За джерело сигналу в якості генератора струму вибираємо СКЗ (на магістральних трубопроводах, як правило $AB > 400$ м, отже ця умова виконується)

Міряють струми J_1 та J_2 , що протікають по трубопроводу в точках D та E (фіг. 1) у зоні дії СКЗ, підключеної до труби і заземлення. Міряють віддаль $l = DE$, використовуючи рулетку чи сажень

Визначають проекцію осі трубопроводу на поверхню землі і глибину h залягання осі труби (використовуючи БІТ-К, або трасошукач з глибиноміром) у точці M, розміщеній між точками D і E міряння струмів. Встановлюють перший електрод над віссю труби у точці M. Другий електрод відносять перпендикулярно трубопроводу і встановлюють у точці N на відстані $a = MN$, яку міряють рулеткою. З аналізу розподілу поля на поверхні землі [3] видно, що доцільно вибирати рознос електродів не меншим ніж глибина залягання трубопроводу, $h < a < 6h$. Міряють напругу U між електродами M і N на частоті зондуючого струму (використовуючи селективний вольтметр, або апаратуру типу БІТ-КВ, настроєні на другу гармоніку 100 Гц випрямленої пульсуючої напруги СКЗ)

У результаті отримали $J_1 = 0,277$ А, $J_2 = 0,275$ А, $l = 8$ м, $h = 1,6$ м, $a = 4,8$ м, $U = 5$ мВ. Визначають величину витікаючого струму $J_s = J_1 - J_2 = 5$ мА. Визначають лінійну густину витікаючого струму $J = J_s / l = 0,625$ мА/м. Питомий опір ґрунту обчислюють за формулою (2)

$$\rho = \frac{5}{0,625} \cdot \frac{2\pi}{\ln(1 + 4,8^2 / 1,6^2)} = 8 \cdot 2,73 = 21,8 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Додатково збільшують силу струму джерела. Повторно міряють струми і напругу у тих же точках. Отримали $J_1' = 0,555$ А, $J_2' = 0,545$ А, $U' = 9,9$ мВ. Обчислюють збільшення (прирости) величин витікаючого струму $\Delta J_1 = J_1' - J_1 = 278$ мА, $\Delta J_2 = J_2' - J_2 = 273$ мА, $\Delta J_s = J_1' - J_2' = 5$ мА, напруги $\Delta U = U' - U = 4,9$ мВ та друге значення опору ґрунту за формулою (3)

$$\rho = \frac{\Delta U \cdot l}{\Delta J_s} \cdot \frac{2\pi}{\ln(1 + a^2 / h^2)} = \frac{4,9 \cdot 8}{5} \cdot 2,73 = 21,4 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Додатково переносять другий електрод на протилежний бік траси і встановлюють його у точці N_2 . Міряють відстань $a_2 = MN_2$ та напругу U_2 при попередній силі зондуючого струму джерела. Отримали $a_2 = 8$ м, $U_2 = 10,1$ мА, $J_s = 555 - 545 = 10$ мА. Обчислюють

$$\rho = \frac{10,1 \cdot 8}{10} \cdot 2,73 = 22,1 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Середнє значення двох напруг, виміряних при двох (протилежних відносно труби) положеннях

другого електрода, у даному випадку становить $U_C = (U_1 + U_2)/2 = (9,9 + 10,1)/2 = 10$ (mV) Це дає $\rho = 21,8$ Ом·м

Мала різниця між даними напругами свідчить про відсутність значного блукаючого (поперек траси) струму в даному випадку

Різні вимірювання за даним способом дають подібні результати, розбіжність між якими не перевищує 3,2% Отримане значення ρ характеризує опір ґрунту на трасі трубопроводу

Практичне використання пропонованого способу передбачає застосування джерела на трубопроводі СКЗ, як джерела тестуючого струму Це зменшує об'єм робіт, необхідних для визначення опору ґрунту, і енергоспоживання вимірювальної установки Безконтактний вимірювач струму з вольтметром (апаратура типу БІТ-КВ) забезпечує пошук трубопроводу і необхідні вимірювання, при цьому мірвання струму в різних точках підземного трубопроводу здійснюється оперативно з поверхні землі без підключень до трубопроводу Оператори встановлюють електроди послідовно у різних точках вздовж трубопроводу і визначають опір ґрунту у різних місцях траси

ґрунти з питомим опором більшим ніж 100 Ом·м характеризують як ґрунти з низькою корозійною активністю (загалом агресивність ґрунтів залежить від ряду факторів та їх співвідношення у сукупності) При $\rho < 10$ Ом·м ґрунт відносять до низькоомних (з високою корозійною активністю) Для протяжних трубопроводів важливою є неоднорідність середовища Якщо трубопровід проходить через ділянки з різною провідністю, то у низькоомних ґрунтах (які менше аеровані і містять більше солей, ніж високоомні) можуть утворюватись анодні зони (місця корозії сталевих труби) Відповідні катоди розміщуються у зоні високоомних ґрунтів,

які звичайно сильно аеровані з невеликим вмістом солей [2]

За вимірами ρ отримують характеристику зміни опору ґрунту вздовж траси трубопроводу, що дає можливість виявляти корозійне небезпечні ділянки з метою нагадження відповідного захисту для запобігання корозійних пошкоджень

Переваги пропонованого способу наступні Джерелом сигналу може бути СКЗ, яку застосовують для захисту від корозії сталевих трубопроводів за нормативними вимогами [2], цим забезпечується можливість визначення опору ґрунту по трасі в зоні дії СКЗ (5-20 км) Придатні ті ж прилади, що використовуються для обстежень трубопроводів На відміну від аналогу (проба ґрунту) і прототипу (який застосовують збоку від траси), за запропонованим способом в реальних умовах визначають опір саме того ґрунту, в якому залягає трубопровід у місці контролю

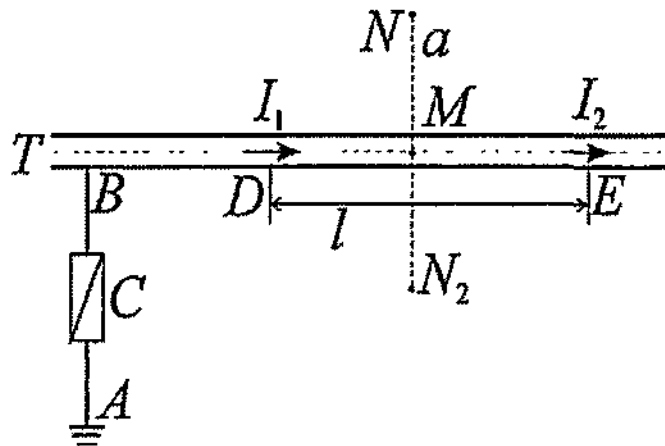
Джерела інформації

1 Глазов Н П Подземная коррозия трубопроводов, ее прогнозирование и диагностика // Серия Коррозия и защита скважин, газопромислового и транспортного оборудования Обзорная информация - М ИРЦ Газпром, 1994 - С 10

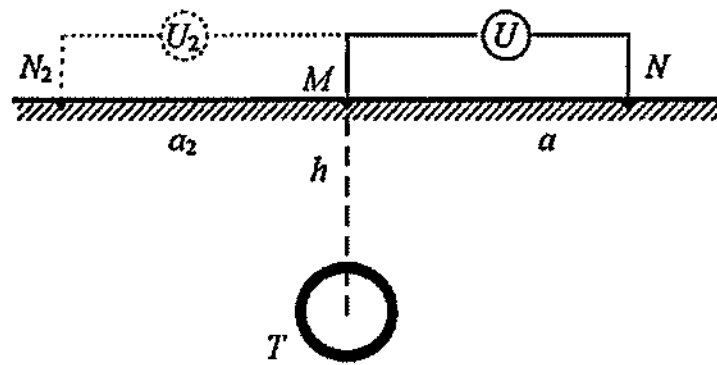
2 Защита подземных металлических сооружений от коррозии Справочник / Авт И В Стрижевский, А Д Белоголовский, В И Дмитриев и др - М Стройиздат, 1990 - 303 с

3 Джала Р Електромагнітне поле підземного трубопроводу // "Протикорозійний захист трубопроводів і споруд та методи контролю, КТС-99" Матеріали 3-го наук.-практ. семінару / Львів ФМІ ім Г В Карпенка НАН України, 1999 - С 70-79

4 Патент 250 Україна МКВ G01R19/00 Безконтактний вимірювач струму в трубопроводі / Р М Джала, Б Я Вербенець Бюл № 1, 1993



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, б-ль Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8
 Обсяг _____ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180
 (044) 268-25-22
