

МЕТОДОЛОГІЯ ТА АПАРАТУРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНИХ КОМПЛЕКСНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ*

Р. М. ДЖАЛА, Б. Я. ВЕРБЕНЕЦЬ, М. І. МЕЛЬНИК, О. М. СЕМЕНЮК, О. О. ЧЕРВІНКА

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5. E-mail: dzhala@ipm.lviv.ua

Розвинуто метод оперативних обстежень та визначення параметрів протикорозійного захисту сталевих з ізоляційним покривом підземних трубопроводів за комплексом безконтактних вимірювань струмів і контактної електрометрії. Показано нові можливості визначення розподілу густини струму катодного захисту та питомого перехідного опору на ділянках підземних трубопроводів під час експлуатації. Описано схеми та функціональні можливості створеної апаратури вимірювань постійних і змінних потенціалів електричного поля, безконтактних вимірювань струмів з електронною пам'яттю та приклади їх використання. Бібліогр. 10, рис. 5.

Ключові слова: трубопроводи підземні, неруйнівний контроль протикорозійного захисту, метод безконтактних обстежень, густина струму катодного захисту, перехідний опір ізоляційного покриття, контроль ізоляції, електричні потенціали, вимірвальна апаратура

Підземні трубопроводи (ПТ) відіграють важливу роль у промисловості та житті суспільства і є важливим стратегічним чинником народногосподарського комплексу держави. У різних регіонах світу налічують біля 2 млн км трубопроводів, якими транспортують газ, нафту, сировину і продукти хімічної промисловості. В Україні – понад 38,6 тис. км магістральних газопроводів, 4500 км нафтопроводів, 570 км аміакопроводів, 256 тис. км труб газових мереж. Використовують сталеві трубопроводи нафто- і газопромислів, продуктопроводи нафтогазової і хімічної промисловості, підземні водогони для населення, підприємств та зрошувальних систем. Крім цього, діє розвинена мережа підземних кабелів для передачі електроенергії і зв'язку. Впливи середовища призводять до корозійних пошкоджень трубопроводів та інших металевих конструкцій і споруд. Це спричинює втрати і перебої постачання транспортованих продуктів, забруднення довкілля, аварії і катастрофи; необхідні роботи і фінансові витрати на ліквідацію результатів аварій. Щоб запобігти незворотним корозійним пошкодженням потрібно вчасно і у відповідних місцях налагоджувати протикорозійний захист, що вимагає періодичних обстежень, виявлення небезпечних місць і ділянок [1, 2].

Основним чинником, що скорочує термін придатності до експлуатації підземних споруд є корозія металу, яка спричинює більше чверті аварій трубопроводів. З часом кількість корозійних пошкоджень зростає аж до непридатності споруди для подальшої експлуатації. Для підвищення надійності та продовження термінів експлуатації трубопроводів використовують комплексний про-

тикорозійний захист (ПКЗ) ізоляційними покриттями і катодною поляризацією [2]. Традиційно контроль стану ПКЗ ПТ проводять контактними методами і засобами [1, 2], які достатньо прості як по суті, так і в інструментальній реалізації. Проте їх продуктивність обмежується трудомісткістю і складнощами забезпечення достатньої кількості надійних контактів вимірвальних електродів з трубою і землею. З фізичної точки зору в електрометрії використовують тільки частину інформації, що є в електричному полі. Магнітне ж поле найчастіше використовують лише для визначення розміщення трубопроводів [1, 3].

На основі теоретичних і експериментальних досліджень електромагнітного поля підземних струмопровідних комунікацій у ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України розроблено нові способи і пристрої та виготовлено зразки приладів для безконтактних вимірювань струмів (БВС) [1, 3–8]. Застосування їх у реальних умовах підтвердило перспективність вибраного напрямку. Безконтактні методи мають значні переваги порівняно з традиційними контактними методами. Проте вони не мали широкого використання і потребують спеціальних засобів вимірювань. Метою даної роботи є створення (на основі результатів проведених досліджень, розробок, натурних випробувань та практичного досвіду) ефективних методів і апаратури оперативних діагностичних обстежень і контролю стану ПКЗ для запобігання пошкоджень та продовження ресурсу трубопровідного транспорту.

Визначення густини постійної складової струму катодного захисту на ділянці ПТ. Сучасні електромагнітні безконтактні методи дають

*За матеріалами роботи, що виконана в рамках цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» за останні роки (www.patonpublishinghouse.com/rus/compilations).

© Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, М. І. Мельник, О. М. Семенюк, О. О. Червінка, 2018

можливість вимірювання змінного струму, що протікає вздовж ПТ [1, 3]. Це дозволяє безпосередньо визначати витікання змінного струму на ділянці ПТ [3–8]. Проте змінний струм не захищає метал від корозії, а безконтактні вимірювання постійного струму ПТ ускладнені наявністю потужного магнітного поля Землі. Тому відомі методи мало придатні для прямого вимірювання постійного струму ПТ. Виникла задача розроблення нового методу визначення густини струму захисту від корозії ділянки ПТ шляхом вибору вимірюваних сигналів та алгоритму їх опрацювання з метою контролю розподілу витрат струму захисту від корозії.

Для вирішення поставленої задачі пропонуємо вимірювати значення J_1 та J_2 змінної компоненти струму, що протікає по трубопроводу на початку і кінці ділянки ПТ. Визначаємо довжину ділянки l . Додатково встановлюємо у ґрунт перший електрод M біля труби (рис. 1) і другий електрод N на відстані x від ПТ. Міряємо постійну U_g та змінну V_g електричні напруги у ґрунті, густину струму захисту від корозії ПТ обчислюємо [4] за формулою

$$i_{pr} = \frac{|J_1 - J_2| U_g}{S V_g}, \quad (1)$$

де S – площа поверхні ПТ на ділянці – обчислюють за діаметром трубопроводу d і довжиною l ділянки $S = \pi dl$. За знаком постійної напруги U_g визначаємо напрям струму поляризації.

Фізичною основою запропонованого методу є наявність у випрямленому струмі захисту від корозії, який подають на ПТ від установки катодного захисту (УКЗ), постійної і змінних складових (гармонік) та пропорційність між напругою і струмом. Постійна i та змінна j складові струму УКЗ, що натікає з ґрунту в трубопровід на ділянці, створюють на поверхні землі між точками M і N постійну U_g і змінну V_g електричні напруги, пропорційні відповідним складовим струму $i/j = U_g/V_g$. Якщо ж трубопровід захищають гальванічним протектором, то для визначення густини струму за даним методом додатково струм на виході протектора мо-

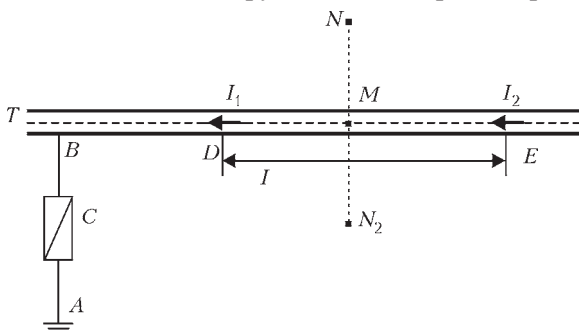


Рис. 1. Розміщення точок D і E безконтактних вимірювань струмів та електродів M і N контактних вимірювань електричних напруг для визначення густини струму захисту від корозії на ділянці підземного трубопроводу

дулюють змінним сигналом низької частоти (наприклад, 100 Гц).

Розроблений спосіб [5] призначений для визначення густини струму катодного захисту від корозії ПТ і може бути використаний при обстеженнях, неруйнівному контролю і налагодженні електрохімічного захисту (ЕХЗ) ПТ та інших струмопровідних комунікацій.

Визначення перехідного опору захисного покриття на ділянці ПТ. Перехідний питомий опір ізоляційного покриття ρ_{in} є основним показником, що характеризує його стан на ділянці підземного трубопроводу [1, 2]. Його визначають відношенням різниці потенціалів на захисному покритті ΔE_{in} (V) до густини струму i_n (A/m²), який протікає через покриття на цій ділянці.

$$\rho_{in} = \Delta E_{in} / i_n, \text{ Ом} \cdot \text{м}^2. \quad (2)$$

Спад потенціалу на захисному покритті ПТ, визначаємо за формулою

$$\Delta E_{in} = E_g + E_{pol} - E_n, \quad (3)$$

де E – вимірювана електрична напруга – потенціал ПТ відносно електрода, встановленого над ПТ [2] у точці M на ділянці n ; E_{pol} – поляризаційний потенціал трубопроводу на даній ділянці, який вимірюють відомим методом вимкнення УКЗ [1, 2]. Для спрощення процедури можна визначати E_{pol} за вимірами двох різниць потенціалів і змінних електричних напруг [1], що дає можливість вилучати омичну складову різниці потенціалів без відключення УКЗ.

Спад потенціалу в ґрунті над ПТ E_g (між поверхнею труби і електродом порівняння, розміщеним над трубою в точці M) дорівнює різниці потенціалів E_x між точками M і N , якщо відстань x між цими точками [1] задовольняє умові:

$$\text{якщо } x = h \sqrt{2 \left(\frac{2h}{d} - 1 \right)}, \text{ то } E_g = E_x, \quad (4)$$

де h – глибина залягання трубопроводу з діаметром d . Таке вимірювання [1] пропонуємо замість громіздкого розрахунку опору розтіканню струму в ґрунті [2].

Для визначення густини струму за формулою (1) віддаль між точками мірювання струму l_n – довжина ділянки ПТ, яку контролюють, має бути такою, щоб різниця між вимірами струму ΔJ_n була більшою від похибки ΔJ вимірювань струму: $\Delta J_n = |J_{n-1} - J_n| > \Delta J$. Якщо ж $\Delta J_n < \Delta J$, то це свідчить про дуже добрий стан ізоляційного покриття ПТ на даній ділянці і віддаль між точками мірювання струму вздовж ПТ збільшуємо. За поганого стану ізоляції різниця вимірів струму ΔJ_n зростає і зону контролю l_n можна зменшувати до значення сумірного з глибиною h залягання ПТ. Це дає можливість уточнювати місце локального пошкодження ізоляційного покриття ПТ.

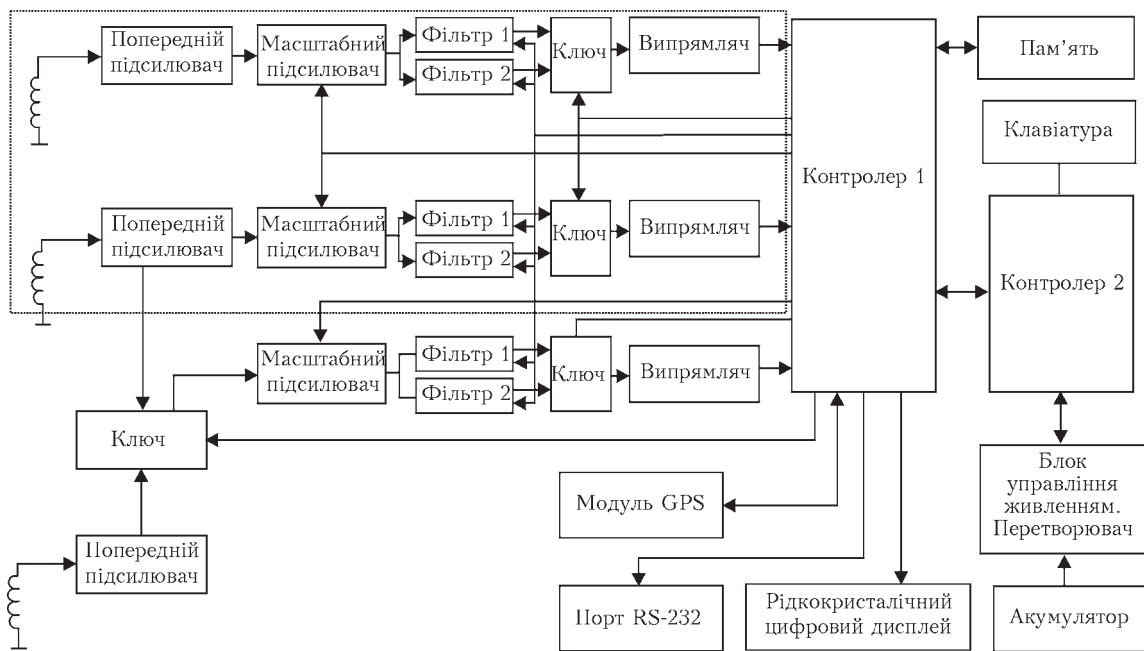


Рис. 2. Функціональна блок-схема апаратури БВС-2

Для реалізації описаних методів на основі проведених досліджень розроблено апаратуру безконтактних БВС-2 і контактних ВПЗН оперативних комплексних обстежень ПТ. Розроблено доповнення до нормативної документації.

Апаратура БВС-2 для безконтактних оперативних обстежень ПТ призначена для вимірювань струмів J_n і глибини h залягання підземних струмопроводів з автоматичним записом вимірів у електронну пам'ять для аналізу і документування.

Апаратура БВС-2 містить аналогові канали підсилення та мікроконтролери для цифрової обробки і управління (рис. 2). Є три аналогові канали, кожен з яких складається з індуктивного датчика, підсилювача, двох смугових фільтрів на різні частоти, електронного ключа вибору частоти, детектора та згладжувального каскаду, сигнали з яких подаються на АЦП для переведення у цифрову форму та подальшої обробки. Фільтри забезпечують вибірковість корисного сигналу від завад в умовах роботи від поля струмів УКЗ або додаткового генератора сигналу. Передбачено два режими пошуку осі ПТ.

Апаратура працює у двох режимах – вимірювання з обробкою та записом даних і в режимі перегляду записаних у пам'яті даних. Перший мікроконтролер містить три десятирозрядних АЦП і забезпечує автоматичне управління підсиленням у чотирьох діапазонах, вибором однієї з двох робочих частот, проводить розрахунок відстані до осі та струму в трубопроводі, запис та зчитування даних з пам'яті, виводить всю необхідну інформацію на рідкокристалічний цифровий дисплей. Інтерфейс – для передачі даних у ПК для подальшої обробки та протоколювання. Ємність енергонезалежної пам'яті дозволяє записати та зберігати

ти дані 1000 вимірів з можливістю їх перегляду. Для фіксації місця і часу виміру введено модуль *GPS*, дані з якого також подаються у перший мікроконтролер. Другий мікроконтролер керує роботою модуля живлення відповідно у режимах вимірювання та зчитування, контролює стан елементів живлення з автоматичним відключенням при повному розряді, забезпечує роботу клавіатури управління.

Живлення апаратури – від одного акумулятора 6 В. Передбачена зарядка від мережі 220 В, акумулятора 12 В, або від сонячних елементів. Передбачена підсвітка дисплея та клавіатури. Апаратура змонтована в пластиковому корпусі (рис. 3) і призначена для використання в польових умовах.

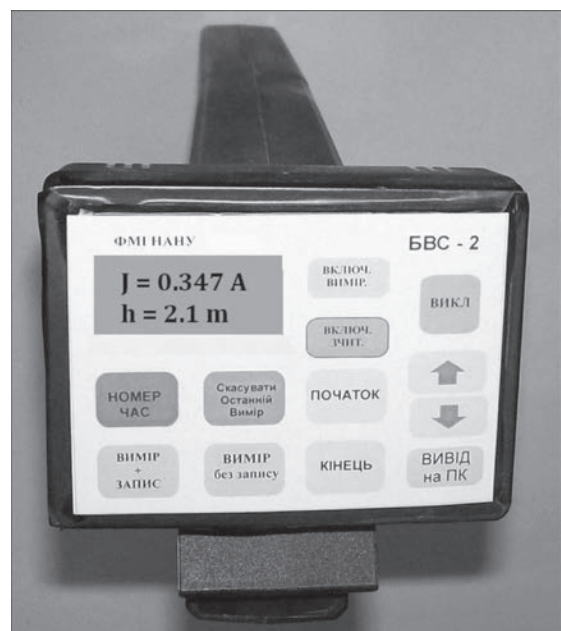


Рис. 3. Загальний вигляд апаратури безконтактних вимірювань струмів БВС-2

Порівняно з попередніми розробками [1] БВС-2 має покращені технічні й експлуатаційні характеристики. Зменшено (у 2 рази порівняно з БВС-1) рівень шумів, що дозволило розширити динамічний діапазон (4 діапазони мірювання струму від одиниць міліампер до 100 А за глибин залягання ПТ до

вель шумів, що дозволило розширити динамічний діапазон (4 діапазони мірювання струму від одиниць міліампер до 100 А за глибин залягання ПТ до

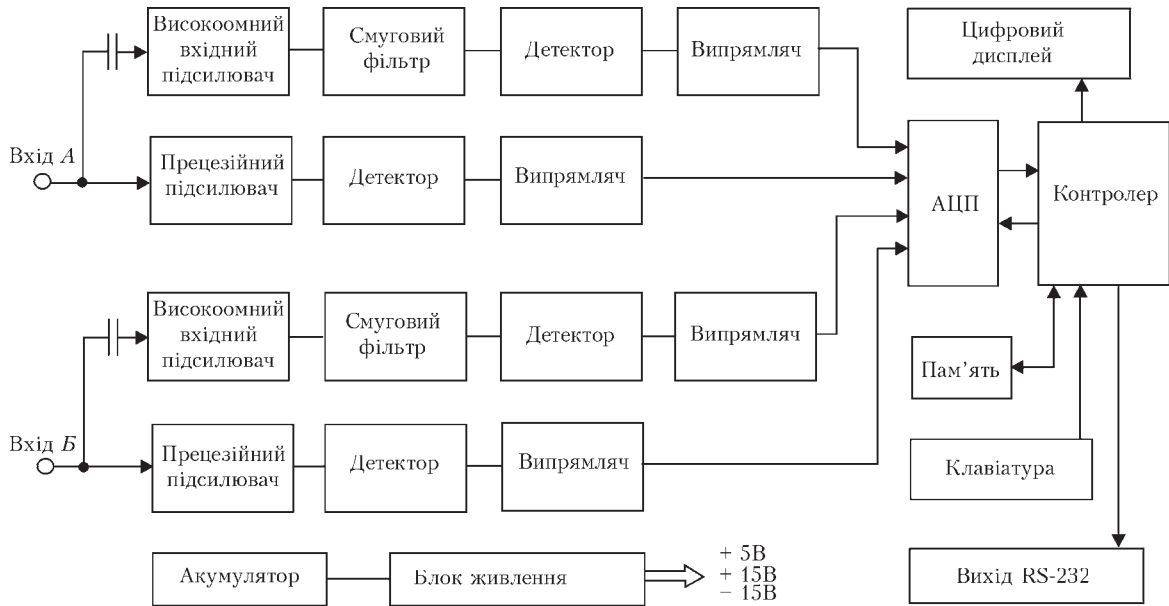


Рис. 4. Функціональна блок-схема вимірювача постійних і змінних електричних напруг ВПЗН

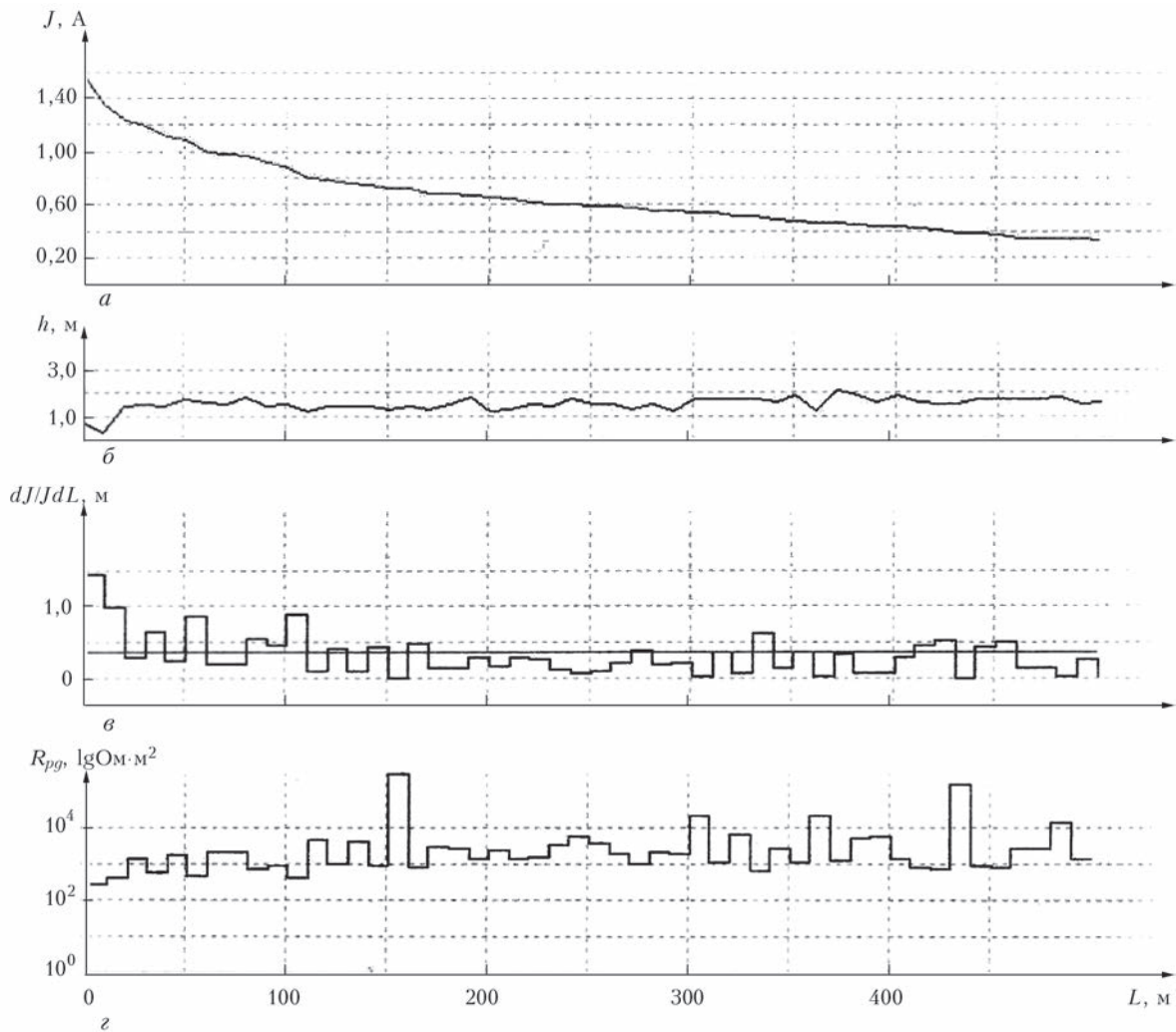


Рис. 5. Результати обстеження ділянки магістрального газопроводу Липники-Львів: розподіл вздовж траси величини струму J (а); глибини h залягання ПТ (б); відносні витрати струму dJ/JdL та рівень критичної витрати струму (перевищення якого вказує місця незадовільної ізоляції ПТ) (в); перехідний опір «труба-земля» (з)

8 м). Застосовано мікроконтролер типу PIC16F833 з більшим об'ємом програмної пам'яті та розширеним інтерфейсом. Введено дві робочі частоти, що дає змогу проводити обстеження ПТ як у зоні дії УКЗ, так і з використанням власного спеціального генератора сигналів для роботи за відсутності УКЗ чи в умовах підвищених завад. Зменшено на 40 % рівень споживання, що збільшило час роботи приладу без дозарядки акумуляторів.

Вимірювач постійних потенціалів та змінних електричних напруг. Розроблена апаратура ВПЗН призначена для вимірювань постійних і змінних електричних потенціалів за описаними вище методами. ВПЗН має два входи і чотири канали (рис. 4). Застосування мікроконтролера забезпечує можливість вибору робочої частоти, одночасний вивід усіх значень на рідкокристалічний цифровий дисплей, запис вимірних даних в електронну пам'ять, перегляд накопичених даних і передача їх у ПК.

Для виділення корисного сигналу введено смугові фільтри на дві фіксовані частоти. Роботою ВПЗН керує мікроконтролер, до якого підключені клавіатура, рідкокристалічний цифровий дисплей, енергонезалежна пам'ять, блок живлення з перетворювачем напруги та інтерфейс RS-232 для передачі даних у ПК. Діапазон вимірювань вхідних напруг вибирається мікроконтролером автоматично.

Використання створеної апаратури дає можливість проводити інтегральні, диференціальні (рис. 5) і локальні обстеження і контроль параметрів ПКЗ ПТ [1, 3, 5–8]. Проведено натурні випробування БВС під час обстежень магістральних газопроводів УМГ «Львівтрансгаз», водогону ЛМКП «Львівводоканал», підземних водо- та газопровідних мереж. Типові результати БВС, які неможливо отримати контактними методами, опубліковані в роботах [3, 5–9].

За результатами проведених досліджень, випробувань і використання БВС розроблено пропозиції змін і доповнень до ДСТУ 4219-2003 «Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії». Запропоновано «Метод контролю стану захисного покриття за БВС на ділянці трубопроводу під час експлуатації», та «Методи оперативного пошуку місць пошкодження захисного покриття ПТ за розподілом струму між гілками трубопроводів і за критичними витратами (заниканням) струму вздовж трубопроводу» [10].

Висновки

1. Запропоновано новий метод визначення розподілу густини струму катодного захисту за безконтактними вимірами змінної складової. Розроблено метод визначення перехідного опору «труба-земля» та його компонент: перехідного питомого опору ізоляції на ділянці ПТ під час експлуатації, питомого опору ґрунту, що оточує ПТ,

опору поляризації ПТ. Розроблено проект доповнень до нормативної документації.

2. Розроблено схеми і виготовлено зразки апаратури БВС-2 для оперативних безконтактних вимірювань струмів та ВПЗН вимірювань постійних і змінних електричних напруг з автоматичним записом вимірів у електронній пам'яті. На основі синхронного детектування розроблено фізичну модель завадостійкого безконтактного вимірювача змінної компоненти електричного поля УКЗ ПТ.

3. Використання результатів досліджень підвищує оперативність та інформативність обстежень і вірогідність результатів контролю і діагностики стану захисту від корозії для запобігання пошкодженням та продовження ресурсу ПТ, що транспортують газ, нафту, воду, продукти хімічної промисловості.

Список літератури

1. Джала Р. М. (2009) *Основи обстеження і контролю корозійного стану підземних трубопроводів. Механіка руйнування та міцність матеріалів*. Довідн. посібник. Панасюк В. В. (ред.). Т. 11, Львів, Сполом, сс. 143–184.
2. ДСТУ 4219-2003. *Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії*.
3. Dzhala R. M., Verbenets V. Ya. (2011) Electromagnetic method and procedures of nondestructive inspection of the corrosion protection of underground pipelines. *Materials Science*, 47, 2, 245–254.
4. Джала Р., Вербенець Б., Джала В. (2010) Контроль протикорозійного захисту магістральних трубопроводів за БВС. *ФХММ*, 8, 2, сс. 615–619.
5. Джала Р. М. (2011) *Спосіб визначення густини струму захисту від корозії на ділянці підземного трубопроводу*. Україна. Пат. UA 94798. МПК G01R 19/08, C23F 13/02.
6. Джала Р. М., Савула С. Ф., Вербенець Б. Я. та ін. (2009) Технологія обстежень підземних трубопроводів з використанням безконтактних вимірювань струмів. *Методи та прилади контролю якості*, 22, 22–27.
7. Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Винник О. Й. і др. (2011) Контроль протикорозійного захисту підземних трубопроводів безконтактним методом. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 4(41), 21–25.
8. Джала Р. М., Дикмарова Л. П., Вербенець Б. Я., Хлипняч П. М. (2006) Безконтактний метод і апаратура для оперативних обстежень підземних трубопроводів. Зб. наук. ст.: *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин*. Київ, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, сс. 57–61.
9. Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Винник О. Й. (2012) Основи, стан і перспективи використання безконтактного методу обстежень і контролю ПКЗ підземних трубопроводів. *Актуальні питання застосування неруйнівного контролю для трубовідного транспорту та інших відповідальних об'єктів*. Київ, ІЕЗ ім. Є. О. Патона, ПАТ «Укртрансгаз», сс. 73–74.
10. Джала Р., Вербенець Б., Винник О. (2011) *Пропозиція змін і доповнень до ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії*. Львів, ФМІ НАН України.

References

1. Dzhala, R.M. (2009) *Basics of inspection and control of corrosion state of underground pipelines. Mechanics of fracture and strength of materials*. In: Refer. book. Ed. by V.V. Panasyuk, Vol. 11. Lviv, Spolom, 143-184 [in Ukrainian].
2. DSTU 4219-2003: *Steel main pipelines. General requirements to corrosion protection* [in Ukrainian].
3. Dzhala, R.M., Verbenets, V.Ya. (2011) Electromagnetic method and procedures of nondestructive inspection of the corrosion protection of underground pipelines. *Materials Sci.*, 47(2), 245-254.

4. Dzhala, R., Verbenets, B., Dzhala, V. (2010) Control of corrosion protection of main pipelines based on contactless current measurements. *FKhMM*, 8(2), 615-619 [in Ukrainian].
5. Dzhala, R.M. (2011) *Method for determination of current density of corrosion protection in section of underground pipeline*. Pat. UA 94798, Int. Cl. GO1R 19/08, C23F 13/02 [in Ukrainian].
6. Dzhala, R.M., Savula, S.F., Verbenets, B.Ya. et al. (2009) Technology of inspections of underground pipelines based on contactless current measurements. *Metody ta Prylady Kontrolyu Yakosti*, 22, 22-27 [in Ukrainian].
7. Dzhala, R.M., Verbenets, B.Ya., Vynnyk, O.J. (2011) Control of corrosion protection of underground pipelines by contactless method. *Rozvidka ta Rozrobka Naftovykh i Gazovykh Rodovyshch*, 4(41), 21-25 [in Ukrainian].
8. Dzhala, R.M., Dykmarova, L.P., Verbenets, B.Ya., Khlypn-yach, P.M. (2006) *Contactless method and instrumentation for operative inspections of underground pipelines*. In: *Problems of resource and safety operation of structures, constructions and machines*: Transact. Kyiv, PWI, 57-61 [in Ukrainian].
9. Dzhala, R.M., Verbenets, B.Ya., Vynnyk, O.J. (2012) *Basics, state-of-the-art and prospects of application of contactless inspection methods and corrosion protection control of underground pipelines*. *Actual problems of nondestructive testing for pipeline transport and other critical facilities*. Kyiv, PWI, PAT Ukrtransgaz, 73-74 [in Ukrainian].
10. Dzhala, R., Verbenets, B., Vynnyk, O. (2011) *Proposition for changes and supplements to DSTU 4219-2003: Steel main pipelines. General requirements for corrosion protection*. Lviv, PMI [in Ukrainian].

МЕТОДОЛОГИЯ И АППАРАТУРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Р. М. ДЖАЛА, Б. Я. ВЕРБЕНЕЦ, М. И. МЕЛЬНИК,
О. Н. СЕМЕНЮК, О. А. ЧЕРВИНКА

Физико-механический институт им. Г. В. Карпенка НАН
Украины. 79060, г. Львов, ул. Наукова, 5.
E-mail: dzhala@ipm.lviv.ua

Развит метод оперативных обследований и определения параметров противокоррозионной защиты стальных с изоляционным покрытием подземных трубопроводов с помощью

комплекса бесконтактных измерений токов и контактной электрометрии. Показаны новые возможности определения распределения плотности тока катодной защиты и удельного переходного сопротивления на участках подземных трубопроводов во время эксплуатации. Описаны схемы и функциональные возможности созданной аппаратуры измерений постоянных и переменных потенциалов электрического поля, бесконтактных измерений токов с электронной памятью и примеры их использования. Библиогр. 10, рис. 5.

Ключевые слова: трубопроводы подземные, неразрушающий контроль противокоррозионной защиты, метод бесконтактных обследований, плотность тока катодной защиты, переходное сопротивление изоляционного покрытия, контроль изоляции, электрические потенциалы, измерительная аппаратура

METROLOGY AND INSTRUMENTATION FOR OPERATIVE COMPLEX EXAMINATION OF UNDERGROUND PIPELINES

R. M. JALA, B. Ya. VERBENETS, M. I. MELNIK,
O. M. SEMENYUK, O. O. CHEVINKA

G. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of
Ukraine, 5 Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine

A method for operative examination and determination of the parameters of anticorrosion protection of underground steel pipelines with an insulation coating by a set of contactless measurements of currents and contact electrometry was developed. New possibilities are shown for determination of the distribution of cathodic protection current density and specific contact resistance in underground pipeline sections in operation. Circuits and functional capabilities of the developed instrumentation with electronic memory for measurement of constant and variable potentials of the electric field, and contactless measurements of currents and their application examples are shown.

Keywords: underground pipelines, nondestructive testing of anticorrosion protection, contactless examination method, cathodic protection current density, contact resistance of insulation coating, electric potentials, measuring instrumentation

Надійшла до редакції
08.12.2017

НОВАЯ КНИГА

В. В. Кныш, С. А. Соловей. **Повышение долговечности сварных соединений с усталостными повреждениями.** – Киев, КПИ им. Игора Сикорского, 2017. – 315 с. Твердый переплет, 150×225 мм.

Монография посвящена проблеме продления срока службы элементов сварных металлоконструкций, работающих в условиях циклических нагрузок, на разных стадиях их поврежденности: от накопления усталостных повреждений до развития магистральных трещин. Исследовано влияние высокочастотной механической проковки на повышение циклической долговечности сварных соединений как на стадии изготовления, так и после длительной эксплуатации. Предложены подходы к расчетному определению кинетики усталостных трещин в полях остаточных напряжений растяжения и сжатия. Рассмотрены конструктивные и технологические способы торможения усталостных трещин. Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся исследованиями в области усталости элементов сварных металлоконструкций длительной эксплуатации, расчетными методами определения и продления их ресурса. Может быть полезна студентам и аспирантам высших учебных заведений технических специальностей.

