

ДІАГНОСТИКА ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВІДІВ У КОНЦЕПЦІЇ КІБЕР-ФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

© Джала Р.М., 2015

Розглянуто проблему обстежень, контролю параметрів і діагностування стану підземних трубопроводів з позицій будови і функціонування сучасних кібер-фізичних систем. Метод і апаратура безконтактних вимірювань струмів з пам'яттю і автоматичним опрацюванням результатів підвищують оперативність та інформативність контролю для забезпечення надійності та продовження термінів безаварійної експлуатації трубопроводів.

Ключові слова: пошукові і діагностичні системи, підземні трубопроводи, безконтактні обстеження, вимірювальний контроль, кібер-фізичні системи.

The problems of inspections, control parameters and diagnostics of underground pipelines from the standpoint of the structure and functioning of modern cyber-physical systems are discussed. Method and apparatus for contactless measurement of currents with memory and automatic processing results improve efficiency and information of testing to ensure the reliability and extension of trouble-free operation of pipelines.

Key words: the search end diagnostic systems, underground pipelines, contactless observation, measuring testing, cyber-physical systems.

Вступ. Підземними трубопроводами (ПТ) транспортують газ, нафту, воду, продукти хімічної промисловості. У світі налічують більше 2 млн. км трубопроводів. В Україні діють: магістральні газопроводи – 37 тис. км; магістральні нафтопроводи – 4,5 тис. км; газові мережі – 256 тис. км. Крім цього використовують трубопроводи газонафтопромислів Прикарпаття, Слобожанщини, у Чорному морі; діють численні підземні кабелі електропостачання, зв'язку і т. п. Пошкодження трубопроводів спричиняють втрати і перебої постачання транспортованих продуктів, призводять до аварій і катастроф з важкими екологічними наслідками.

Для надійної безаварійної експлуатації цих важливих і дорогих підземних комунікацій необхідні захист від корозії, періодичні діагностичні обстеження (оскільки з часом змінюються характеристики матеріалів і умови на трасах) та відповідне профілактичне обслуговування.

У даній статті розглянуто комплексну проблему обстежень, контролю параметрів і діагностування стану підземних трубопроводів [1-5] з позицій будови і функціонування сучасних кібер-фізичних систем (КФС) [6]. Основну увагу зосереджено на контролі корозійного стану ПТ, що є визначальним для забезпечення надійності та продовження термінів їх безаварійної експлуатації.

Стан проблеми. Сучасна діагностика трубопроводів охоплює ряд методів і розвивається у різних напрямках тематики досліджень і розробок [2], у т. ч. оцінка залишкового ресурсу, міцності матеріалів трубопроводу; безпека, моніторинг, діагностування; радіаційні методи контролю; ультразвукова діагностика; акусто-емісійний контроль, вібродіагностика;

магнетна і електромагнетна діагностика; оптична, теплова та екологічна діагностика; пересувні лабораторії, обладнання, пошук течі; навчання персоналу, стандарти, метрологія.

У практиці обстежень стану корозійного стану підземних металевих трубопроводів (ПТ) застосовують, в основному, контактні методи вимірювань з поверхні землі, які достатньо прості у використанні і по суті не потребують складного обладнання. Проте суттєвими їх недоліками [1] є: трудомісткість забезпечення надійних контактів з ПТ і ґрунтом, на переходах під річками, на заболочених ділянках та у рослинних заростях на трасі; ненадійність контактів електродів із ґрунтом при високому опорі поверхні землі (сухі ґрунти, асфальт і т.п.); обмежений радіус дії (локальний характер контролю); залежність сигналу від опору ґрунту та глибини залягання труби; потреба попереднього уточнення місцезнаходження трубопроводу. Внутрішньотрубна дефектоскопія дає можливість виявляти дефекти металеві стінки труби, проте не дає інформації про стан протикорозійного захисту ПТ. Тому актуальним є розвиток і використання безконтактних методів і засобів обстежень ПТ [3-5].

Безконтактні методи обстежень за мобільністю, продуктивністю й інформативністю мають значні переваги порівняно з традиційними контактними методами. Але вони потребують спеціальних засобів вимірювань і тому не мали широкого застосування. У ФМІ НАН України проведено комплекс досліджень електромагнітного поля і сигналів ПТ, створено алгоритми, засоби вимірювань і опрацювання інформації.

Постановка задачі. Для забезпечення надійності функціонування трубопровідних систем за сучасними вимогами передбачаються періодичний неруйнівний контроль та неперервний моніторинг певних показників. Для цього потрібні достатньо зручні методи і засоби збору, опрацювання, документування і передачі вимірюваної інформації, подальшої її накопичення, зберігання й аналізу для прийняття рішень і ефективного керування.

Виклад основного матеріалу.

Для досліджень взаємодії електромагнітного (ЕМ) поля з фізичним об'єктом – ПТ запропоновано триєдину математичну модель (ТЄММ) ЕМ поля підземного сталевого ізольованого трубопроводу, яка базується на розв'язаннях крайових задач електродинаміки, теорії електричних кіл з розподіленими параметрами та теорії розподілу поля струмів об'ємних провідників [4]. ТЄММ дає можливість ефективно досліджувати електромагнітні явища, пов'язані з корозійним станом ПТ, полегшує виявлення і аналіз інформативних ознак поля та розробку методів і систем обстежень ПКЗ, є теоретичною основою ЕМ інформаційно-вимірювальної системи (ІВС). Досліджено взаємозв'язки між геометричними і електричними параметрами ПТ (ізоляції, середовища) та характеристиками його ЕМ поля. Визначено необхідні параметри вимірювальних перетворювачів, побудовано алгоритми опрацювання сигналів та визначення струмів, опорів, електричних потенціалів для оцінювання стану протикорозійного захисту (ПКЗ) ПТ.

Для підвищення оперативності збору інформації вздовж трас ПТ розвинуто метод безконтактних вимірювань струмів (БВС), розроблено теоретичні основи. Серед диференціальних БВС виділено градієнтні і паралаксні. Запропоновано нові способи і пристрої БВС. Розроблено апаратуру типу БІТ, БВС що забезпечує визначення місця, напрямку і глибини залягання трубопроводів і струмопровідних комунікацій та вимірювання струму без підключення до трубопроводу і землі [4, 7]. Апаратура обладнана електронною пам'яттю, що забезпечує автоматичну фіксацію вимірів. З метою розширення функціональних можливостей апаратура БІТ-КВП додатково споряджена вольтметром для вимірювань потенціалів катодного захисту. За результатами вимірювань безпосередньо на

трасі оператор робить перші висновки про стан ПКЗ ПТ. Запропоновано і перевірено в натурних умовах новий критерій виявлення ділянок ПТ з незадовільною ізоляцією за критичними витратами струму.

Накопичені на трасі масиви даних вимірювань через інтерфейс переводяться з переносної апаратури у комп'ютер для опрацювання і документування. Вибрано критерії і розроблено алгоритми вилучення невірних вимірів (промахів) [8]. За спеціальною програмою формуються таблиці даних, формуються їх графічні подання [9].

Розвинуто методи визначення параметрів ізоляційного покриття і електрохімічного захисту від корозії сталевих ПТ, запропоновано технологію безконтактних інтегральних, диференціальних та локальних обстежень ПКЗ ПТ за БВС з раціональним використанням контактної електрометрії [9-10]. Вперше розроблено методи визначення розподілу вздовж траси струму катодного захисту, перехідного опору труба-земля та його складових (грунту, ізоляції, поляризації [11-13].

Деталізаційні локальні обстеження з можливим подальшим розкопуванням ПТ (для обстеження стану тіла труби у шурфах) рекомендується першочергово проводити у місцях аномально великих витрат струму катодного захисту ПТ [5, 9, 12].

За результатами проведених оперативних польових обстежень роблять висновки щодо можливостей і режимів подальшої експлуатації ПТ, чи потреб і обсягів профілактичного налагодження активного електрохімічного захисту, чи вибіркового або загального ремонту захисного ізоляційного покриття ПТ, чи додаткових обстежень із залученням інших методів, чи капітального ремонту трубопроводу.

Висновок. Розроблено нову технологію обстежень підземних трубопроводів безконтактним методом. Інтеграція цієї інформаційної технології (зі створеними засобами технічного і методичного забезпечення) у загальну систему ПКЗ підвищує оперативність та інформативність обстежень, дає можливість переходити від регламентного обслуговування до обслуговування чи ремонту за технічним станом для запобігання пошкоджень, підвищення надійності і продовження термінів експлуатації дорогих і важливих підземних трубопроводів і пов'язаних з ними споруд.

1. *Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии.* / Глазов Н. П., Стрижевский И. В., Калашикова А. М. и др. – М.: Недра, 1978. – 215 с.
2. *Діагностика трубопроводів* / Р. М. Джала. – Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – Т.37, №5. – С. 123.
3. *Джала Р. М. Контроль корозії підземних трубопроводів безконтактним методом // Відбір і обробка інформації. – 2001. – Вип.15(91). – С.142-153.*
4. *Джала Р. М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг. ред. В. В. Панасюка.– Т. 5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука. – Львів: ФМІ НАНУ. – 2001. – Розділ 5. – С. 263-330.*
5. *Джала Р. М. Основи обстеження і контролю корозійного стану підземних трубопроводів. // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Том 11: Міцність та довговічність трубопроводів і резервуарів нафтогазового комплексу / Г. М. Никифорчин, С. Г. Поляков, В. А. Черватюк, І. В. Ориняк, З. В. Слободян, Р. М. Джала – Львів: «Сполом», 2009. – Розділ 6. – С. 143-184.*
6. *Мельник А. О. Кібер-фізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Комп'ютерні системи та мережі, № 806, 2014. - С.154÷161.*
7. *Вербенець Б. Я. Безконтактний метод і прилади для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів / Автореферат дис. ... к. т. н. 05.11.13 –*

Львів: ФМІ НАН України, 2011. – 20 с. **8.** Вербенець Б. Я., Джала Р. М., Шевчук Т. І. Селекція вимірів при обстеженнях підземних трубопроводів. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Вип. 14. – Львів: ФМІ НАНУ, 2009. – С. 111-116. **9.** Технологія обстежень підземних трубопроводів з використанням безконтактних вимірювань струмів / Джала Р. М., Савула С. Ф., Вербенець Б. Я., Винник О. Й., Джала В. Р., Мельник М. І., Шевчук Т. І. // Методи та прилади контролю якості, 2009. № 22 - С. 22-27. **10.** Determination of parameters of corrosion protection of underground pipelines from noncontact measurements of current / Dzhala R. M., Verbenets' B. Ya., Mel'myk M. I., Shevchuk T. I. // Materials Science: Volume 45, Issue 3 (2009), Page 441-446. **11.** Метод контролю перехідного опору захисного покриття ділянки підземного трубопроводу. / Р. Джала, Б. Вербенець, О. Винник, В. Джала, М. Мельник, Р. Савула // ФХММ. Спец. вип. № 9. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. 2012. Т. 2. – С. 668-672. **12.** Electromagnetic method and procedures of nondestructive inspection of the corrosion protection of underground pipelines / Dzhala R. M., Verbenets' B. Ya. // Materials Science: Volume 47, Issue 2 (2011). – P. 245-254. **13.** Диференціація локальних пошкоджень ізоляції струмопроводу за розподілом магнітного поля / Р. М. Джала, В. Р. Джала, Б. Я. Вербенець, О. М. Семенюк // Методи та прилади контролю якості. – 2012. – № 1 (28). – С. 33-40.

DIAGNOSTICS OF UNDERGROUND PIPELINES IN THE CONCEPT OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Roman Dzhala, 2015

The problems of inspections, control parameters and diagnostics of underground pipelines from the standpoint of the structure and functioning of modern cyber-physical systems are discussed. Method and apparatus for contactless measurement of currents with memory and automatic processing results improve efficiency and information of testing to ensure the reliability and extension of trouble-free operation of pipelines.

Key words: the search end diagnostic systems, underground pipelines, contactless observation, measuring testing, cyber-physical systems.