

# ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мельника Мар'яна Ігоровича

## *“Розроблення методу і засобів контролю поляризаційного потенціалу підземних трубопроводів”,*

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

За результатами ознайомлення з дисертацією Мельника М. І. та заслухавши його виступ на семінарі відділу електрофізичних методів неруйнівного контролю Фізико-механічного інституту Національної академії наук України, можна стверджувати що вона є науковою роботою, яка подана у вигляді рукопису і складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків з результатами впровадження та дослідження, а також ознайомлення з опублікованими працями здобувача за темою дисертації, необхідно зазначити таке.

### 1. Актуальність теми дисертації

Під час періодичного контролю стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів за основний параметр приймають їх поляризаційний потенціал. Значення поляризаційного потенціалу залежить від низки чинників, може змінюватись залежно від місця пролягання трубопроводу, умов довкілля та з плинном часу. Традиційно обстеження підземних трубопроводів проводиться контактними електрометричними методами з поверхні землі над трубопроводами. З метою збільшення довговічності підземних трубопроводів під час експлуатації значення поляризаційного потенціалу повинно підтримуватись в досить вузьких межах від 0,85 В до 1,15 В. Окрім того, під час оперативного контролю ізоляційних покривів трубопроводів для забезпечення точності в межах декількох відсотків з результатів вимірювання поляризаційного потенціалу слід вилучати спад напруги на опорах вимірювального кола. На підставі внутрітрубних обстежень виявляються вже наявні пошкодження металу труби в даному місці і не має інформації про стан захисту трубопроводу для запобігання корозії. З допомогою безконтактних методів достатньо оперативно та ефективно вимірюють струми заникання вздовж трубопроводів та локалізують місця можливих пошкоджень за умови забезпечення неперервності контролю, але не отримують інформацію про значення поляризаційного потенціалу.

Таким чином, створення нових методик і засобів неруйнівного контролю стану різних елементів конструкцій і виробів, які працюють в умовах промислового виробництва і мають тривалий термін експлуатування є дуже актуальним завданням, оскільки сприятимуть суттєвому зменшенню фінансових вкладень. Для одержання об'єктивної інформації про їх стан доцільно максимально повно використовувати наявний у конкретних умовах діагностичного обстеження

спектр методів, застосовуючи для цього відповідні апаратурні засоби, які взаємно доповнюють один одного своїми перевагами.

В Україні недостатньо розвинуте виробництво інформаційно-вимірювальних засобів технічного контролю з перетворенням інформативних сигналів різної фізичної природи для оперативного контролювання стану підземних трубопроводів. Якщо в загальних рисах охарактеризувати специфіку їх побудови, то можна відзначити, що оскільки інформативні сигнали є мало-потужними, то необхідно забезпечити достатнє їх підсилення та фільтрування. Це вимагає створення підвищеної завадостійкості вхідних вузлів. Ураховуючи те, що в Україні достатньо розвинутий підземний трубопровідний транспорт та інші роззосереджені об'єкти із катодним електrozахистом і є наявна розгалужена мережа заземлених потужних електрооб'єктів, наприклад, електрозалізниця, які є джерелами потужних завад спільногого виду, то ще одним важливим аспектом є розроблення ефективних теоретико-експериментальних підходів до виявлення та виділення сигналів про стан протикорозійного захисту на фоні завад.

У зв'язку з цим комплексний аналіз механізмів генерування інформативних сигналів, які виникають під час дії на підземний трубопровід різноманітних чинників, вибір та обґрутування їх узагальненої математичної моделі і синтез на цій основі теоретично обґрунтованих підходів до побудови методів відбору та опрацювання інформативних сигналів для оцінювання стану протикорозійного захисту є актуальним науково-технічним завданням, яке має важливе значення для створення відповідних методик, пристрій та систем контролю руйнування та діагностики стану підземних трубопроводів.

## **2. Загальна характеристика роботи**

Дослідження за темою дисертації виконувались у рамках держбюджетних наукових тем відділу електрофізичних методів неруйнівного контролю ФМІ НАН України за період 2009-2016 рр.: держбюджетні теми за постановами Президії НАН України «Дослідження методів відбору і опрацювання електромагнітних сигналів для діагностування корозійного захисту підземних трубопроводів 0110U000434; «Дослідження і розробка електромагнітних методів, засобів відбору й опрацювання інформації для контролю протикорозійного захисту магістральних трубопроводів 0111U002384; «Розроблення технології захисту від корозії та корозійно-механічного руйнування металоконструкцій у сірководневих середовищах» 0112U002777; «Дослідження інформативних ознак електромагнітного поля біля поверхні металу з покриттям у провідному середовищі для діагностування корозії металоконструкцій» 0114U004000; науково-технічні проекти «Розроблення та виготовлення апаратури МГП для діагностичних обстежень та контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів» 0113U000926; «Розробка методології і апаратури оперативних комплексних обстежень підземних трубопроводів» 0110U004555; «Розроблення системи і підготовка апаратурного забезпечення діагностичних обстежень підземних трубопроводів» 0115U004004 комплексної програми досліджень НАН

України «Ресурс»; результати досліджень і розробок НДР ФМІ за господово-рами №№769, 1057, 1370, 1525, де дисертант був виконавцем.

Для вирішення поставлених в дисертаційній роботі науково-технічних задач використовували методи: теорії електромагнітного поля, теорії кіл з розподіленими параметрами, розрахунку параметрів електричних полів в об'ємних провідниках. Використовувалось також математичне моделювання основних теоретичних співвідношень на основі емпіричних та евристичних підходів. Для експериментальної перевірки методу та відповідної апаратури розроблено метрологічне забезпечення, проведено лабораторні дослідження та експериментальну перевірку основних теоретичних положень в реальних умовах експлуатації підземних трубопроводів.

Під час виготовлення апаратурних засобів використані новітні методи схемотехнічного проектування та конструювання, фізичний експеримент, математичні методи опрацювання результатів вимірювань.

Основні положення, висновки та рекомендації отримані автором за результатами вирішення сформульованих наукових задач. До основних наукових результатів роботи можна віднести:

- проаналізовано сучасний стан методів і засобів контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів;
- розвинуто та обґрунтовано метод визначення поляризаційного потенціалу з вилученням впливу омічного опору вимірювального кола;
- теоретично досліджено вплив електрофізичних параметрів середовища на електричну ємність металевого циліндра з ізоляцією;
- розроблено апаратуру для вимірювального контролю поляризаційного потенціалу та стану захисного покриття підземних трубопроводів;
- розвинуто комплексний метод контролю протикорозійного захисту та стану захисного покриття підземних трубопроводів за результатами вимірювання значень струму, потенціалів і координат;
- розроблено програмне забезпечення апаратури для опрацювання результатів вимірювань;
- проведено метрологічні дослідження та експериментальні випробування на підземних трубопроводах розробленої апаратури.

### **3. Оцінка змісту дисертації**

**Структура та обсяг.** Дисертація містить вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел і додатки. Загальний обсяг дисертації становить 250 сторінок, у тому 149 сторінок основного тексту, 102 рисунки та 19 таблиць, перелік використаних джерел з 173 бібліографічних найменувань на 24 сторінках, додатки на 60 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими програмами, темами, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну, практичне значення й особистий внесок автора в отримані результат, подано відомості про їх апробацію і використання.

У **першому розділі** наведено огляд і аналіз літератури з контролю проти-корозійного захисту підземних сталевих трубопроводів, показано необхідність і обґрунтовано вибір напрямку досліджень і розробок. Окреслено основні методи досліджень корозійного стану металу в електролітичному середовищі, характеристики ґрунтової корозії, фактори небезпеки та вимоги до захисту. Проведено огляд науково-технічної літератури по методах та засобах вимірювань поляризаційного потенціалу.

Пошкодження ізоляції ПТ шукають методами винесення електрода та вимірювань напруги на поверхні ґрунту. Виявляють аномалії електричного поля, за якими відшукають локальні наскрізні пошкодження ізоляції. У процесі експлуатації ПТ стан ізоляції і поляризаційний потенціал вимагається обстежувати періодично, не менше одного разу на рік.

Встановлено недоліки відомих методів визначення поляризаційного потенціалу металевих споруд в електропровідному середовищі та обґрунтовано доцільність розроблення апаратури з використанням нового методу, за яким поляризаційний потенціал визначають на підставі опрацювання результатів вимірювань спадків напруг на постійному та змінному струмах.

У **другому розділі** дано обґрунтування нового методу визначення ПП з вилученням омічного складника за вимірами постійних і змінних електрических напруг, досліджено вплив електрофізичних параметрів середовища на ємність ПТ та встановлено діапазон робочих частот. Сформульовано основні вимоги до апаратури ВПП.

Фізичною основою нового методу визначення ПП з вилученням омічного складника є різна залежність поляризаційної і омічної складових від частоти. Розглянуто феноменологічну електричну схему міжфазного шару метал-ізоляція-електропровідне середовище, основними параметрами якого є електричні провідності ізоляції, поляризації, ґрунту та ємності ізоляції і поляризації. Під час проходження через міжфазний шар постійного струму маємо омічні та поляризаційну складові переходного опору «метал-середовище». У випадку ж проходження змінного струму маємо тільки омічні складові опору ізоляції та ґрунту, а поляризаційна складова шунтується великою ємністю подвійного електричного шару. Показано, що різниця між спадками напруги на постійному та змінному струмах дорівнює поляризаційному потенціалу, якщо значення амплітуди змінної напруги приведено до значення постійної напруги за допомогою коефіцієнта гармоніки. В реальних умовах пропонується визначати його відношенням вимірів змінної і постійної напруг у ґрунті впоперек траси.

З урахуванням отриманих оцінок ємності підземних трубопроводів і поданих в літературі діапазонів значень переходного опору ізоляційного покриву, поляризаційних ємності та опору встановлено, що запропонований метод визначення поляризаційному потенціалу коректний, якщо частота змінного струму знаходиться у діапазоні  $2 \text{ Гц} \div 2000 \text{ Гц}$ , коли вже не впливає поляризаційний опір границі сталь-середовище і ще не впливає ємнісна (реактивна) складова провідності ізоляційного шару порівняно з омічною (активною) складовою провідності цього ж ізоляційного шару підземних трубопроводів в умовах експлуатації. Це експериментально підтверджено в натурних умовах вимірювання із

застосуванням приладу ОРТ+В2.

**Третій розділ** присвячено розробці апаратури вимірювань поляризаційного потенціалу (ВПП), яка повинна забезпечувати можливості вимірювання постійних і змінних з частотою 100 Гц напруг в діапазоні від 1 мВ до 10 В, мати вхідний опір не менший 10 МОм, енергонезалежну пам'ять для масиву даних не менше 1000 результатів вимірювання потенціалів і координат, автономне живлення від акумуляторів, діапазон робочих температур від 0 до 30°C, малі масу і габарити.

Розроблена апаратура ВПП-М складається з аналогової та цифрової частин. Подано описи аналогової та цифрової частин, описано можливості забезпечення необхідних метрологічних характеристик, його конструкцію.

**У четвертому розділі** описано проведену експериментальну перевірку методу визначення поляризаційного потенціалу та метрологічні дослідження розробленої апаратури ВПП-М. Експериментальну перевірку методу проведено в лабораторних умовах на електрофізичній моделі, реалізованій у вигляді заступної електричної схеми межі металу з ізоляційним покривом в електропровідному середовищі відповідно до реальних значень параметрів феноменологічної схеми. Метрологічними дослідженнями підтверджено відповідність технічних характеристик пристрою ВПП-М існуючим нормативним вимогам до апаратури для обстежень підземних трубопроводів. Встановлено, що значення основної інструментальної відносної похибки вимірювань потенціалів по чотирьох каналах не перевищує 1,2 %. Наведено вираз методичної похибки визначення поляризаційного потенціалу, для проведених вимірювань її значення не перевищує 1,1 %.

**У п'ятому розділі** описано результати випробувань та використання розробленої апаратури ВПП-М, процедури її застосування у комплексі з безконтактним вимірюванням струму і комп'ютерного опрацювання результатів вимірювань та характерні приклади роботи на трасах магістральних трубопроводів.

Проведено контроль стану протикорозійного захисту ділянок магістральних газопроводів з одночасним вимірюванням постійної різниці потенціалів та змінної електричної напруги на поверхні ґрунту. За вимірами поляризаційного потенціалу контролюють стан електрохімічного захисту та виявляють місця корозії та дають змогу проводити пошук пошкоджень ізоляції підземних трубопроводів за відомими методами поперечного градієнта та Пірсона. Проведені комплексні обстеження ділянок газопроводів показали добре узгодження і взаємне доповнення результатів безконтактних і контактних вимірювань.

Під час контролю стану протяжних трубопроводів можливі помилкові катастрофічні рішення, такі як невиявлений дефект, що може привести до пошкодження і аварії, дуже небажаних під час експлуатації. Показано, що комплексні обстеження з використанням пристрій різного принципу дії БВС-К і ВПП-М дають змогу зменшити ймовірність помилок і підвищують вірогідність результатів контролю.

**Додаток** містить керівництво до експлуатації апаратури ВПП-М, програму і протокол метрологічних досліджень, протоколи натурних випробувань, документи про використання розробленої апаратури для обстежень і контролю ПКЗ

підземних трубопроводів.

#### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується:

- коректністю постановки та проведення досліджень;
- узгодженістю результатів досліджень з відомими з літератури або отриманими іншими способами;
- апробацією методів і апаратури на лабораторних стендах та підземних трубопроводах;
- ефективністю практичного застосування розроблених методик і засобів на реальних об'єктах контролю.

#### **5. Наукове та практичне значення роботи, використання її результатів**

У дисертації вирішено важливе науково-технічне завдання, яке полягає у виборі та обґрунтуванні узагальненої математичної моделі вимірювання інформативних сигналів, які виникають під час дії на контрольований об'єкт різноманітних фізичних чинників, синтезі на цій основі апаратури та побудові методик відбору та опрацювання результатів вимірювання поляризаційного потенціалу для оцінювання стану протикорозійного покриття підземних трубопроводів.

*Наукове значення* роботи полягає:

- у розвитку методу визначення поляризаційного потенціалу поверхні металу в електролітичному середовищі на підставі вимірювань спадів напруг на постійному і змінному струмах та розроблені математичної моделі з використанням коефіцієнта гармонік сигналів, що дозволило вилучити омічний спад напруги під час розрахунку його значення;
- в розробленні структури портативного засобу вимірювання поляризаційного потенціалу з використанням паралельних цифрових каналів вимірювання спадів напруг на постійному та змінному струмах та цифрового підрахунку його значення з коригуванням омічної складової;
- вперше на підставі розв'язку крайової задачі електродинаміки встановлено залежності ефективної ємності металевого циліндра з ізоляцією в електропровідному середовищі від електрофізичних параметрів структури і частоти поля, які дають змогу обґрунтовано вибирати частоту поля під час коригування вимірюваного значення поляризаційного потенціалу;
- розвинуто метод визначення розподілу питомого опору ізоляційного покриву підземних трубопроводів за результатами вимірювань значень струмів,

потенціалів і координат під час неруйнівного контролю протикорозійного захисту.

*Практична цінність отриманих результатів* полягає у створенні і дово-денні до практичного використання засобів вимірювання поляризаційного потенціалу для контролю електрохімічного захисту і розробленні методик контролю ізоляційних покривів підземних трубопроводів.

– Впровадження методики визначення поляризаційного потенціалу з коригуванням омічної складової без необхідності відключення катодних установок та без використання компенсаторів спадків напруги на опорі середовища або стаціонарних електродів порівняння дозволяє зменшити трудозатрати та підвищити вірогідність результатів контролю електрохімічного захисту.

– Створена апаратура дає можливість оперативно контролювати кількісну інформацію про стан пристройів катодного захисту на різних ділянках та виявляти місця пошкоджень ізоляції підземних трубопроводів за відомими методами Пірсона та градієнта.

– Використання вимірювача поляризаційного потенціалу в поєднанні з апаратурою безконтактних вимірювань струму дає змогу у зоні дії установки катодного захисту, яка подає на трубопровід випрямлений пульсууючий струм від силової мережі живлення з постійною та змінною частотою 100 Гц складовими, визначати розподіл вздовж траси густини постійної складової катодного захисту та перехідного питомого опору ізоляції на різних ділянках підземних трубопроводів. Якщо використовується катодний захист на постійному струмі, то у цьому випадку можна використовувати або його модуляцію змінним сигналом вибраної частоти, або ж застосовувати генератор змінного струму.

– Застосування глобальної системи позиціонування з визначенням геометричних віддалей між точками вимірювання полегшує опрацювання і документування результатів діагностичних обстежень.

– Нагромадження результатів вимірювання та передавання їх до комп'ютерів збільшує оперативність і зменшує ймовірність помилок під час опрацювання і документування результатів обстежень. Це дає принципову можливість впровадження контролю за технічним станом для запобігання пошкоджень, підвищення надійності і подовження термінів експлуатації технічно важливих і дорогих підземних трубопроводів і металевих споруд.

## 6. Повнота викладення матеріалу дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно викладені в опублікованих 24-х наукових працях, в т.ч. в 13-ти наукових періодичних вітчизняних і зарубіжних виданнях, журналах і збірниках праць, що відповідають вимогам МОН України до публікацій результатів дисертаційних робіт у фахових виданнях, з них 3 входять до міжнародних науково-метрических баз, 2-х патентах України, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

Основні положення і результати дисертації доповідалися й обговорювалися більш ніж на 31 конференціях і симпозіумах різного рівня (з них 14 міжнародних).

## **7. Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки і практики. Можливі конкретні шляхи використання результатів досліджень**

Цінність для науки і практики результатів досліджень, отриманих у дисертаційній роботі, полягає в тому, що автором розвинута та випробувана методологія контролю та діагностування поточного стану різних підземних трубопроводів придатна для використання в реальних умовах експлуатації.

Дисертант досить повно відмітив у вступі до дисертації основні положення наукової новизни та практичної значимості.

Результати дисертації можуть бути використані в галузях промисловості, енергетики та транспорту для підвищення оперативності та інформативності діагностичних обстеженні протикорозійного захисту підземних трубопроводів, визначення параметрів активного і пасивного захисту та виявлення місць корозії для запобігання пошкоджень і продовження термінів експлуатації магістральних нафто-, газо-, водо- та продуктопроводів. У цьому напрямку автор має вже, як свідчать додатки до дисертації, певний досвід впровадження своїх розробок для контролю різних об'єктів.

## **8. Відповідність автореферату змісту дисертації.**

Автореферат оформлено відповідно до встановлених вимог, в ньому викладена основна суть виконаних наукових досліджень, наведені висновки і список основних публікацій. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

## **9. Зауваження до дисертації та автореферату**

1. Під час огляду існуючих методів і засобів контролю стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів не сформульовано основні вимоги до переліку вимірюваних фізичних величин, їх діапазонів та точнісних характеристик, подана обмежена кількість відомих аналогів та не зроблено критичного аналізу їх недоліків.

2. Не проаналізовано можливостей використання компенсаційного методу вимірювання поляризаційного потенціалу підземних трубопроводів, в якому практично забезпечується незалежність результатів вимірювань від значення вимірювальних струмів.

3. Не обґрутовано вибір значення 2 кГц верхньої границі діапазону робочих частот вдосконалюваного методу вимірювання поляризаційного потен-

нціалу підземних трубопроводів, в той час як за співвідношенням (2.71), стор. 85 дисертації це значення становить приблизно 16 кГц.

4. У розділі 3 не подано обґрунтування вибору технічних характеристик (наприклад частоти змінного струму) та особливостей побудови функціональної схеми розробленої структури засобу вимірювання напруг та потенціалів.

5. Не проведено аналіз похибок функції перетворення засобів вимірювання постійних та змінних напруг і поляризаційного потенціалу.

6. Розділ 3 переобтяжений описами конструкції та технології виготовлення засобів вимірювання без пов'язання їх із завданнями дисертації.

7. Не встановлено вимоги до метрологічних характеристик та не обґрунтоване розроблення методики лабораторних досліджень, яка б підтвердила можливість досягнення цих характеристик.

8. Не подано результатів експериментальних досліджень та методики їх опрацювання, які б підтверджували б можливість атестації запропонованого методу вимірювань поляризаційного потенціалу.

9. Під час аналізу метрологічних характеристик та опрацюванні результатів перетворень слід було б використати сучасну концепцію оцінювання непевності практично виконаних вимірювань.

10. Не подано аналізу метрологічних властивостей розробленого програмного забезпечення як обчислювальної компоненти цифрової системи вимірювання, накопичення, передавання та опрацювання масиву вимірювальної інформації про параметри контролю протикорозійного захисту.

11. Не подано пропозицій щодо можливостей вдосконалення існуючої нормативно-технічної документації ДСТУ 4219-2003 щодо захисту від корозії сталевих магістральних трубопроводів.

12. Вживається низка некоректних, нестандартних та неусталених технічних термінів, наприклад, «величина» слід вживати «значення», «міряння», «вимірів» слід вживати «вимірювання», «падіння» замість «спад» або «спадок» напруги. Є граматичні та стилістичні помилки.

## 10. Висновок

В цілому подані зауваження не торкаються основних наукових положень роботи та її практичного значення.

Дисертаційна робота Мельника М. І. із урахуванням актуальності вирішених у роботі завдань, наукової новизни отриманих результатів і можливості їх практичного використання є закінченим науковим дослідженням, що містить нові наукові положення та практичні результати, які у сукупності розв'язують науково-прикладне завдання вдосконалення методів і засобів контролю поляризаційного потенціалу підземних трубопроводів.

Наведені у роботі наукові положення, технічні рішення й узагальнюючі висновки повністю висвітлені у фахових наукових виданнях, пройшли відповідну апробацію та були схвалені на наукових конференціях, автор отримав також патенти на винаходи на представлені у дисертації розробки.

За змістом, обсягом та структурою дисертаційна робота “*Розроблення методу і засобів контролю поляризаційного потенціалу підземних трубопроводів*”, подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, задовольняє вимогам МОН України, відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин, а її автор Мельник Мар'ян Ігорович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

### Офіційний опонент

професор кафедри метрології, стандартизації та сертифікації, заступник директора Інституту комп’ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету „Львівська політехніка”, доктор технічних наук, професор

Яцук В.О.

Підпис проф. В.О. Яцука посвідчує:

Вчений секретар Національного університету «Львівська політехніка»

к.т.н., доцент

Р.Б. Брилинський

