

КОНТРОЛЬ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВІДІВ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

¹Р.М. Джала, ¹Б.Я. Вербенець, ²О.Й. Винник, ¹М.І. Мельник, ²Р.С. Савула ²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 79601, м. Львів, вул. Наукова, 5,
e-mail: dzhala@iptm.lviv.ua

² УМГ „Львівтрансгаз”, 79053, м. Львів, вул. Рубчака, 3,
e-mail: vynnuk@ltg.lviv.ua

Подано теоретичні основи електромагнітного методу безконтактних вимірювань струмів підземних трубопроводів, шляхи виявлення ненадійної ізоляції за критичними витратами струму. Описано апаратуру і портативні прилади для контролю стану електрохімічного захисту від корозії, визначення розподілу густини струму катодного захисту та перехідного опору. Наведено приклади практичних обстежень підземних трубопроводів.

Ключові слова: трубопроводи підземні, контроль захисту від корозії, безконтактний метод, прилади, розподіл струму катодного захисту, критерій незадовільної ізоляції, перехідний опір

Поданы теоретические основы электромагнитного метода бесконтактных измерений токов подземных трубопроводов, пути выявления ненадежной изоляции по критическим расходам тока. Описана аппаратура и портативные приборы для контроля состояния электрохимической защиты от коррозии, определения распределения плотности тока катодной защиты и переходного сопротивления. Приведены примеры практических обследований подземных трубопроводов.

Ключевые слова: трубопроводы подземные, контроль защиты от коррозии, бесконтактный метод, приборы, распределение тока катодной защиты, критерий неудовлетворительной изоляции, переходное сопротивление.

Theoretical bases of electromagnetic method of the non-contact measurements of currents of underground pipelines, of bed on after the critical charges of current, apparatus and portable devices are described for control of the state of electrochemical corrosion protection, determination of distributing of cathode current and of transitional resistance. The examples of practical inspections of underground pipelines are resulted.

Keywords: underground pipelines, control of corrosion protection, non-contact method, devices, distributing of cathode current, criterion of unsatisfactory, transitional resistance

Вступ

Для надійного функціонування і продовження термінів експлуатації сталевих підземних трубопроводів (ПТ) необхідним є належний протикорозійний захист (ПКЗ), який передбачає захисні ізоляційні покриви та катодну поляризацію – електрохімічний захист (ЕХЗ). Вплив оточуючого середовища призводять до корозійних пошкоджень трубопроводів, що спричиняють втрати металу і транспортованого продукту, перебої в його постачанні, забруднення довкілля, аварії і катастрофи. З часом саме корозія визначає придатність металеві споруди до експлуатації. Щоб запобігти цим пошкодженням, потрібно вчасно і у відповідних місцях налагоджувати ПКЗ, а це вимагає періодичних обстежень, контролю параметрів, виявлення корозійно небезпечних ділянок.

Підземні сталеві трубопроводи захищають від ґрунтової корозії комплексно: ізоляційним покриттям і катодною поляризацією захисним струмом, параметри яких повинні відповідати певним встановленим вимогам. Традиційно стан ізоляції і електрохімічного захисту ПТ контролюють контактними електрометричними методами з поверхні землі, недоліками яких є трудомісткість забезпечення достатньої кількості надійних контактів вимірювальних приладів

з металом ПТ і ґрунтом, локальний характер контролю та нестача інформації для кількісних оцінок стану ізоляції. Названі недоліки усуваються використанням електромагнітного методу безконтактних вимірювань струмів (БВС) [1-5].

Внутрішньотрубна дефектоскопія виявляє лише вже наявні пошкодження металеві стінки труби, але не дає потрібної інформації про стан захисту від корозії.

На даний час безконтактні методи широко застосовують лише для визначення розміщення трубопроводів і кабелів та іноді для пошуку пошкоджень ізоляції. Практично не контролюють розподіл струму установок катодного захисту (УКЗ), що призводить до нераціональних витрат електроенергії.

1 Теорія електромагнітного поля підземного трубопроводу

На основі запропонованої триєдиної математичної моделі електромагнітного поля ПТ [1], яка базується на розв'язках рівнянь Максвелла, досліджено інформативні ознаки просторового розподілу ЕМ поля ПТ. Доведено правомірність і визначено область застосування закону Кірхгофа для контролю розподілу струмів ПТ та закону Біо-Савара-Лапласа для опису

просторового розподілу магнітного поля струмів. Розроблено теоретичні засади створення засобів електромагнітних обстежень і визначення параметрів ПКЗ ПТ.

2 Методи безконтактних вимірювань струмів

Проведені у ФМІ НАН України з УМГ „Львівтрансгаз” теоретичні й експериментальні дослідження характеристик електромагнітного поля на трасах ПТ та порівняльний аналіз методів і засобів діагностичних обстежень свідчать, що для оперативного контролю ПКЗ ПТ найбільше придатними є безконтактні диференційні вимірювання змінної компоненти випрямленого пульсуючого струму установки катодного захисту, який несе інформацію як про розподіл струму електрохімічного (активного) захисту, так і про стан ізоляційного покриття (пасивного захисту) на різних ділянках ПТ [2-5]. Проаналізовано характеристики природних, техногенних і технологічних джерел поля на трасах, як заводонесучих, та струмів УКЗ, як інформаційних.

Розглянуто методи визначення розміщення ПТ шляхом переміщення (профілювання) упоперек траси магнітного поля струму та поворотів (змін орієнтації магнітосприймача) для градієнтного і паралаксного (рис. 1) визначення відстані до ПТ. Описано відомі і запропоновано нові способи БВС за вимірами МП у двох і більше точках над трасою ПТ [1, 5, 6].

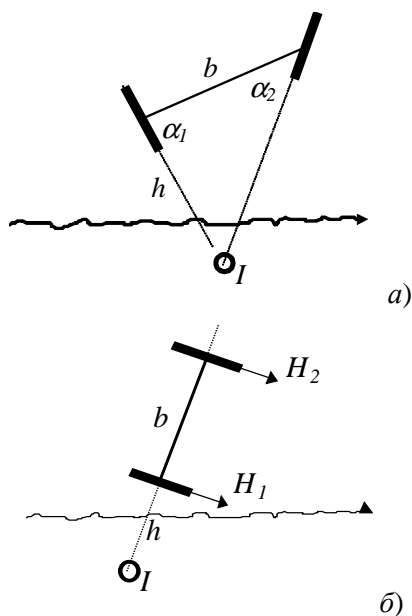


Рисунок 1 – Паралаксний (а) і градієнтний (б) методи визначення відстані до струмопроводу та безконтактних вимірювань струму

На основі математичної моделі магнітного поля струму ПТ з витіканням у землю крізь пошкодження ізоляції досліджено вплив цього витікання на результати безконтактних вимірювань глибини h залягання і струму ПТ за градієнтним J_g і паралаксним J_p методами [1, 6].

Показано можливість застосування цих вимірювань для локалізації місць пошкоджень ізоляційної ПТ.

3 Виявлення незадовільної ізоляції ПТ за критичними витратами струму

За результатами зіставлення зникання струму вздовж ПТ із зниканням плоскої електромагнітної хвилі в ґрунті встановлено критерій оцінки якості ізоляції – критичну відносну витрату струму

$$\delta J_{кр} = 0,2\sqrt{f / \rho_g}, \quad \% / \text{м}, \quad (1)$$

де: f – частота струму (Гц), ρ_g – питомий електроопір ґрунту (Ом·м). Обчислені для роботи на трасі значення $\delta J_{кр}$ для двох можливих робочих частот f зондувального струму та різних значень питомого опору ґрунту ρ_g наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Критичні відносні витрати (зникання) $\delta J_{кр}$ зондувального струму в трубопроводі залежно від частоти f і питомого опору ґрунту ρ_g

Частота f (Гц)	Критична витрата струму $\delta J_{кр}$ (%/м) при ρ_g (Ом·м)			
	10	30	60	100
10	0,20	0,115	0,082	0,063
100	0,63	0,36	0,26	0,20

У випадках, коли визначені за безконтактними вимірами відносні витрати струму на деяких ділянках перевищують критичні значення $\delta J_{кр}$, ізоляція ПТ на цих ділянках визнається незадовільною.

4 Апаратура безконтактних вимірювань струмів

На основі відомих і запропонованих способів БВС вибрано оптимальні системи первинних перетворювачів із врахуванням можливостей технічної реалізації та умов застосування на трасах ПТ. Створено апаратуру типу БІТ-К, ..., БІТ-КВП за паралаксним способом (рис. 2 і 3) та БВС за градієнтним, які використовують для обстежень ПТ та інших комунікацій зі струмами від 0,01 до 100 А на глибинах до 6 і більше метрів. Проведено експериментальні дослідження і натурні випробування, розроблено конструкторську документацію, виготовлено на Дослідному заводі ФМІ НАН України і передано в експлуатацію комплекти апаратури типу БІТ-3, БІТ-К, БІТ-К2, БІТ-КВ, БІТ-КВП.

Створена апаратура типу БІТ-КВП з інтерфейсом дозволяє оперативно отримувати кількісну інформацію про стан ПКЗ на різних ділянках ПТ. Накопичені результати вимірювань переводяться у комп'ютер з програмою автоматичного опрацювання і документування. Інтеграція розробленої інформаційної технології з засобами технічного і методичного забезпечення

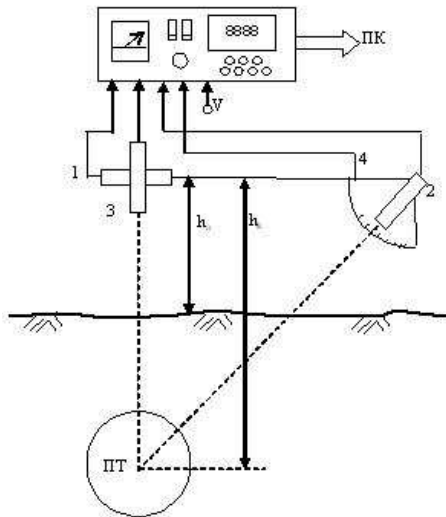


Рисунок 2 – Схема безконтактних вимірювань струму ПТ апаратурою БІТ-КВП

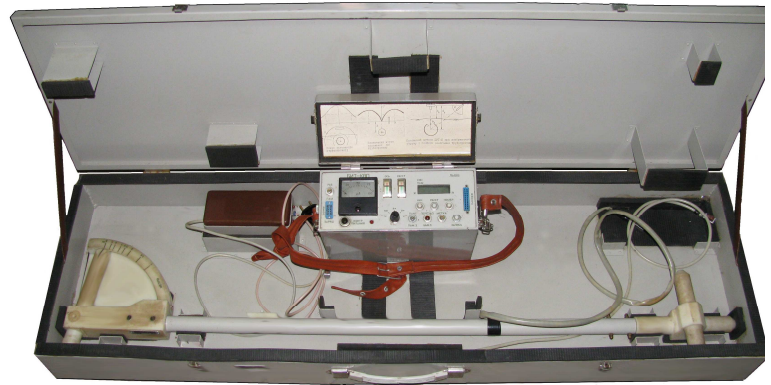


Рисунок 3 – Комплект апаратури БІТ-КВП

ня у загальну систему контролю, діагностування і моніторингу ПКЗ підвищує інформативність обстежень, дає змогу переходити від регламентного обслуговування до обстеження чи ремонту за технічним станом для запобігання пошкоджень, підвищення надійності і продовження термінів експлуатації дорогих і важливих підземних трубопроводів.

5 Портативні прилади типу ОРТ і ОРТ+В для обстежень і контролю ЕХЗ ПТ

Для обстежень ПТ і контролю ПКЗ розроблено і передано в експлуатацію низку портативних приладів. Створено оригінальний портативний безконтактний прилад ОРТ і його модифікації (рис. 4) для визначення розміщення струмопроводу і дистанційного контролю роботи СКЗ ПТ за розподілом МП струму. Налаштовано серійний випуск приладів ОРТ для визначення розміщення ПТ та інших струмопровідних комунікацій. Перевагами його у порівнянні з відомими трасошукачами є високі заводостійкість і чутливість, малі габарити, маса і енергоспоживання. Досягнуті зменшення впливу сторонніх електричних полів та паразитних наводок, фільтрація сигналу й удосконалення методики дають змогу проводити обстеження ПТ в зоні дії промислових заводів.

Портативні прилади ОРТ+В (рис. 4) та ОРТ+В2 додатково споряджені вольтметрами постійної і змінної напруг для електрометричного контролю ПКЗ.

6 Визначення розподілу струму катодного захисту та перехідного опору ПТ

Розвинуто методи визначення розподілу струму установки катодного захисту (УКЗ) ПТ для контролю витрат постійного складника струму катодного захисту (шляхом БВС змінного складника і визначення коефіцієнта гармоніки) і перехідного опору захисних ізоляційних покривів і його складових на різних ділянках трубопроводів [2-7], які, на відміну від відомих,



Рисунок 4 - Портативні прилади типу ОРТ і ОРТ+В для визначення розміщення трубопроводів (струмопроводів) і контролю ЕХЗ

мих, дають не лише інтегральні, але і диференційні та локальні оцінки.

Безконтактні вимірювання змінного складника струму УКЗ дають оцінки розподілу витрат струму по різних гілках та на суміжних ділянках ПТ довжиною не менше глибини залягання ПТ. Їх використовують для диференційованих оцінок і контролю стану ізоляції на різних ділянках та виявлення найбільш імовірних місць корозії. Додаткові вимірювання коефіцієнтів гармоніки дають можливість визначити розподіл густини постійного складника струму катодного захисту, що натікає на трубопровод з ґрунту.

Густину струму захисту від корозії на ділянці ПТ обчислюємо за формулою

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

де: J_1 та J_2 – результати безконтактних вимірювань змінного струму, що протікає по трубопроводу на початку і кінці ділянки; S – площа поверхні ПТ на цій ділянці; U_g – постійна та V_g – змінна електричні напруги у ґрунті між двома електродами (рис. 2). За знаком U_g визначають напрям струму поляризації.

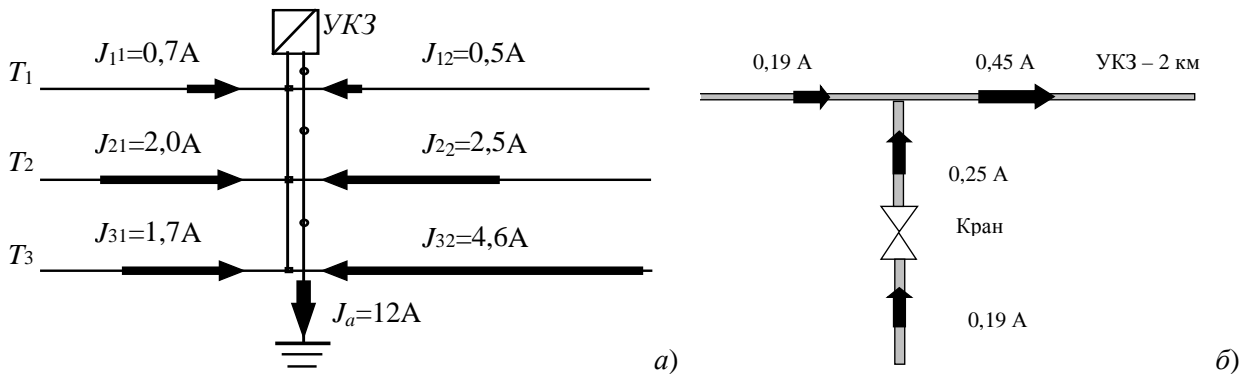


Рисунок 5 – Схеми розподілів струму УКЗ магістральних газопроводів (за вимірами БІТ-КВП) між гілками трьох ПТ (а) та на відгалуженні ПТ (б)

Для визначення компонент перехідного опору додатково вимірюємо різницю потенціалів і змінну напругу між металом труби і мідно-сульфатним електродом порівняння, встановленим на поверхні ґрунту над ПТ, та заміряємо глибину залягання ПТ і відстань між електродами. За названими вимірами і розробленими у ФМІ алгоритмами визначаємо перехідний опір ПТ, питомий опір ґрунту, поляризаційний опір між металом труби і середовищем, опір ізоляційного покриття ПТ для змінного і постійного струмів [2-7].

Запропоновано способи і пристрої безконтактного вимірювання постійного струму ПТ з вилученням впливу геомагнітного і вторинного магнітного полів для створення нової апаратури контролю корозії ПТ [1].

Визначення розподілу вздовж траси перехідного опору труба-земля за БВС та його складових дають кількісну інформацію для контролю пасивного захисту (ізоляції) ПТ на різних ділянках для вироблення обґрунтованих рішень щодо стану, потреб, видів і обсягів ремонту ПКЗ. За вимірами БІТ-КВ визначається питомий опір ґрунту біля ПТ для контролю корозійної активності середовища [5].

7 Приклади контролю ПКЗ ПТ

Розроблені засоби БВС використовують для інтегрального (рис. 5), диференційного (рис. 6) та локального визначення і контролю параметрів ПКЗ ПТ [3-7].

На рис. 6 показано порівняння результатів обстежень ділянки магістрального ПТ контактним методом (вимірювання різниці потенціалів на поверхні ґрунту над трубою U_{gg} і труба-земля U_{pg}) та безконтактним методом БВС J, h і отриманий за БВС розподіл вздовж ПТ відносних витрати струму δJ_n . Заміри опору ґрунту на даній ділянці дали значення $\rho_g=60...90$ Ом·м. За формулою (6) та згідно таблиці 2 критичне зникання струму 100 Гц має значення $\delta J_{кр.} \approx 0,25$ %/м, що зображено на графіку штриховою лінією. Як видно з цього графіка, струм зникання значно перевищує критичне зникання на трьох інтервалах довжини труби. За вказаним вище критерієм у місцях аномально великих витрат струму ізоляція ПТ незадовільна.

Загалом результати контролю ізоляції ПТ за БВС добре узгоджуються з результатами пошуку пошкоджень ізоляції контактним методом “поперечного градієнта” [2-7]. Крім того, БВС додатково виявляє місця аномально великих витрат струму на переходах ПТ під дорогами та каналами і болотами, які важко обстежувати контактним методом.

Експериментальними вимірюваннями на трасах магістральних трубопроводів показано правомірність оцінки якості ізоляції за відносними витратами змінного струму та виявлення місць незадовільної ізоляції ПТ за критерієм критичної відносної витрати струму, визначеним за розрахунком зникання електромагнітної хвилі на частоті зондувального струму в ґрунті з електропровідністю, що є на ділянці траси, яку контролюють.

Розвинуто метод оперативних диференціальних обстежень ПТ з визначенням розподілу перехідного опору ПТ та кількісними оцінками опору ізоляції на різних ділянках ПТ за БВС з раціональним використанням контактної електрометрії для контролю параметрів ПКЗ ПТ.

З використанням безконтактних вимірювань струмів (БВС) суттєво підвищуються ефективність і оперативність обстежень підземних трубопроводів.

Література

- Джала Р.М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібн.; під заг. ред. В. В. Панасюка. – Том. 5. Неруйнівний контроль і технічна діагностика; під ред. З. Т. Назарчука. – Львів: ФМІ НАНУ. – 2001. – Розд. 5. – С. 263-330.
- Джала Р.М. Електромагнітні методи визначення перехідного опору підземного трубопроводу. / Р. Джала, Л. Дикмарова, Б. Вербенець, О. Винник, Т. Шевчук // ФХММ. – 2008. – Спецвипуск № 7. Т. 2. – С. 813-818.
- Джала Р.М. Визначення параметрів протикорозійного захисту підземних трубопроводів за безконтактними вимірами струму / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, М. І. Мельник, Т. І. Шевчук // Фіз.-хім. механіка матеріалів, 2009. Том 45, № 3 – С. 106-111. (Dzhala R. M., ... // Materials Science.- 2009- 45, № 3.)

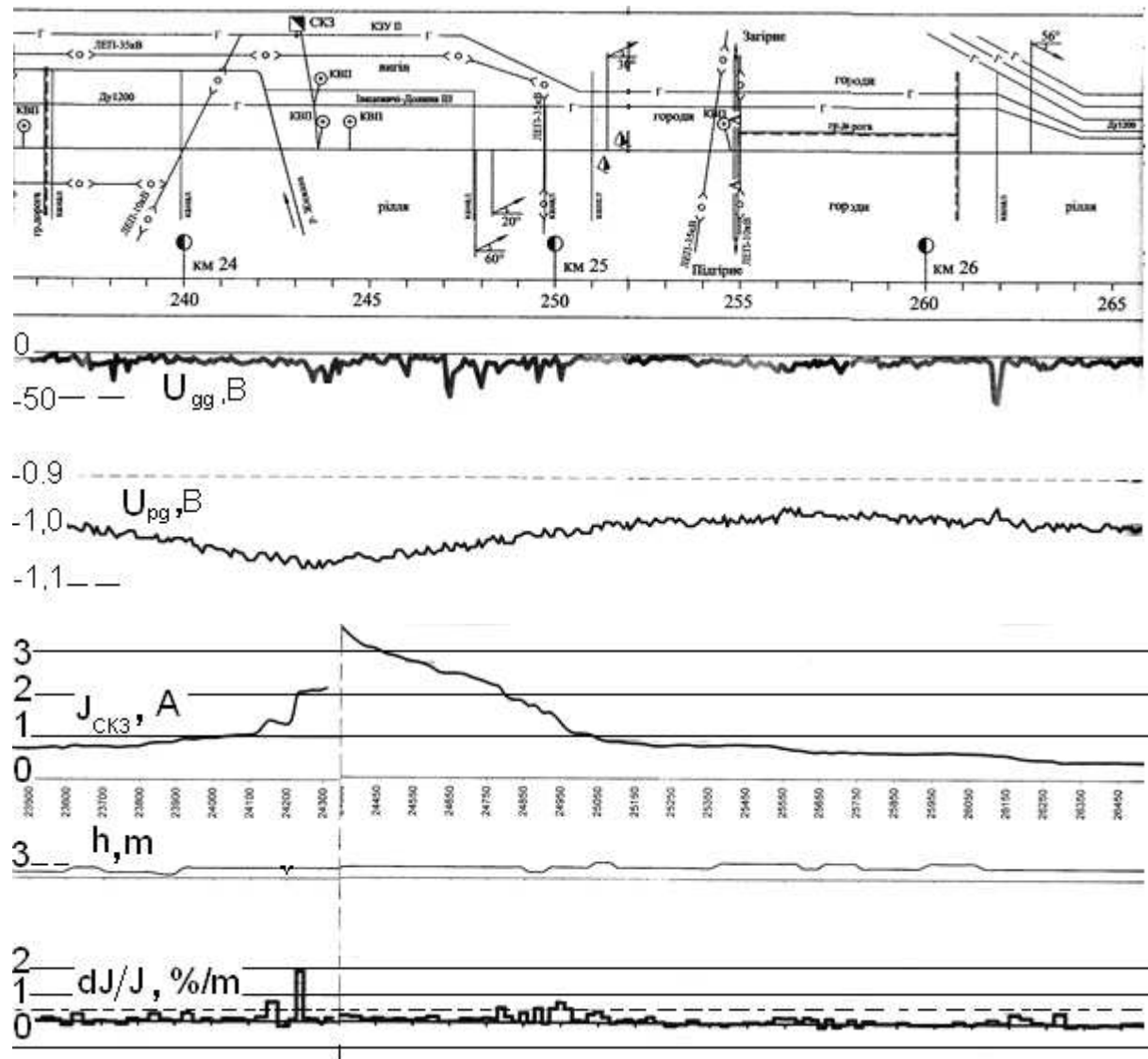


Рисунок 6 – Результати обстеження магістрального трубопроводу контактним U та безконтактним J, h

4 Джала Р.М. Технологія обстежень підземних трубопроводів з використанням безконтактних вимірювань струмів / Р.М. Джала, С.Ф. Савула, Б.Я. Вербенець, О.Й. Винник, В.Р. Джала, М.І. Мельник // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 22. – С. 22–27.

5 Джала Р.М. Основи обстеження і контролю корозійного стану підземних трубопроводів / Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідниковий посібник; під заг. ред. В.В. Панасюка – Том 11. Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів. – Львів: „Сполом”, 2009. – Розділ 6. – С. 143–184.

6 Вербенець Б.Я. Безконтактний метод і прилади для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів: автореф. дис... к.т.н. 05.11.13. – Львів: ФМІ НАН України, 2011. – 20 с.

7 Джала Р.М. Електромагнетний метод і засоби безконтактних обстежень протикорозійного захисту підземних трубопроводів / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець // Фіз.-хім. механіка матеріалів.– 2011.– Том 47, № 2. – С. 117–125. (Dzhala R. M., ... // Materials Science. – 2011. – 47, № 2).

Стаття надійшла до редакційної колегії
12.11.11

Рекомендована до друку Оргкомітетом
науково-технічної конференції
“Нафтогазова енергетика – 2011”,
яка відбулася в ІФНТУНГ
10-14 жовтня 2011 р.