

УДК 537.8: 620.1: 621.643.2

## ТЕХНОЛОГІЯ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗКОНТАКТНИХ ВИМІРЮВАНЬ СТРУМІВ В ЇХ СТІНКАХ

*Р.М. Джала<sup>1)</sup>, С.Ф. Савула<sup>2)</sup>, Б.Я. Вербенець<sup>1)</sup>, О.Й. Винник<sup>2)</sup>, В.Р. Джала<sup>1)</sup>,  
М.І. Мельник<sup>1)</sup>, Т.І. Шевчук<sup>3)</sup>*

1) Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України (ФМІ НАНУ), вул. Наукова, 5, м. Львів, 79601, тел. 8-067-371-34-85

2) УМГ "Львівтрансгаз", вул. Рубчака, 3, м. Львів, 79601

3) Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013

*Описано технологію інтегральних, диференціальних та локальних обстежень стану захисту від корозії підземних металевих трубопроводів методом безконтактних вимірювань струмів. Наведено приклади практичного використання на трасах магістральних газопроводів.*

*Описана технология интегральных, дифференциальных и локальных обследований состояния защиты от коррозии подземных металлических трубопроводов методом бесконтактных измерений токов. Приведены примеры практического использования на трассах магистральных газопроводов.*

*Technology of integral, differential and local observations of the state of corrosion protection of underground metallic pipelines by the method of the non-contact measurements of currents is described. The examples of the practical use are resulted on the routes of main gas pipelines.*

Обстеження стану протикорозійного захисту (ізоляції й катодної поляризації) підземних трубопроводів (ПТ) на даний час проводять, в основному, контактними електрометричними методами. Безконтактні ж електрометричні методи достатньо широко використовують лише для визначення розміщення і глибини залягання ПТ.

Основними недоліками контактних методів обстежень ПТ є: трудомісткість забезпечення достатньої кількості надійних контактів вимірювача з ПТ і ґрунтом, обмежений радіус дії (локальний характер контролю); залежність сигналу від опору ґрунту та глибини залягання труби, що спричинює похибки вимірювань і помилкові висновки, потребу попереднього уточнення місцезнаходження трубопроводу; ненадійність контактів електродів із ґрунтом при високому опорі поверхні землі (більше 100 Ом·м), що ускладнює обстеження на трасах з сухими ґрунтами і унеможливорює його за наявності асфальтових, бетонних і т.п. покривів ґрунту. Крім цього, відомі труднощі використання контактних методів для обстежень магістральних трубопроводів на переходах під

річками, на заболочених чи покритих густою рослинністю ділянках траси ПТ тощо.

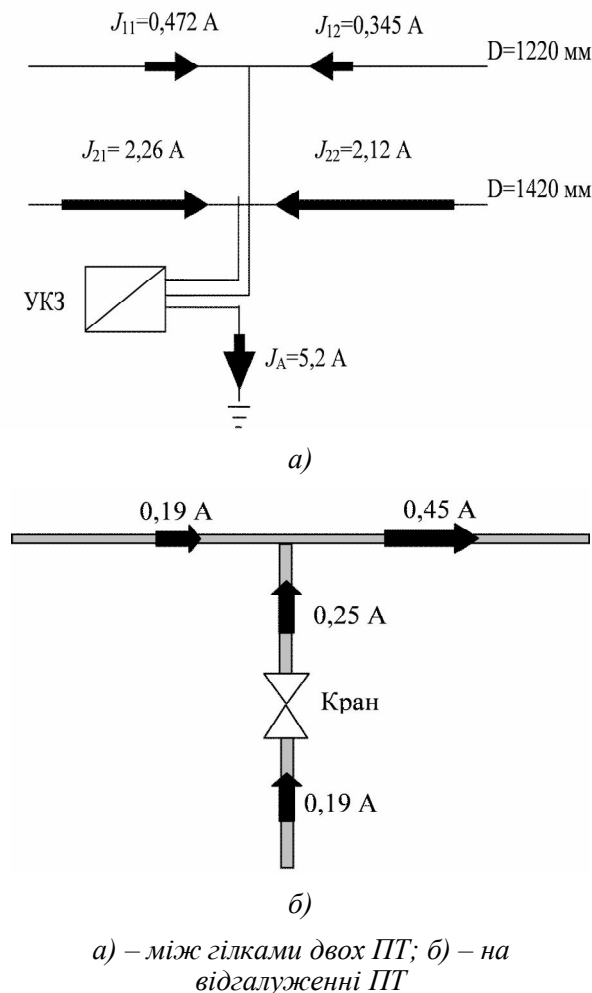
Названі недоліки усуваються з використанням методу безконтактних вимірювань струмів (БВС), який активно розвивається в останні роки. На базі проведених у ФМІ НАНУ теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано ряд нових способів і пристроїв та розроблено низку приладів для безконтактних обстежень ПТ [1-6]. Зокрема, створено комплект апаратури типу БІТ-КВП з пам'яттю [6, 7] та портативні прилади типу ОРТ+В [5, 8], налагоджено їх виготовлення на замовлення підприємств, які експлуатують і обстежують ПТ, розроблено нову апаратуру типу БВС [9] з покращеними експлуатаційними характеристиками. Використання БВС дозволяє суттєво підвищити оперативність та інформативність обстежень ПТ.

Метод БВС можна застосовувати як самостійно для інтегральних і диференціальних обстежень, так і у комплексі з традиційною контактною електрометрією для локальних обстежень [3, 9-11].

У даній статті описано технологію і результати обстежень ПТ на цих етапах.

Інтегральні обстеження методом БВС проводять з метою порівняльних оцінок стану протикорозійного захисту (ПКЗ) ділянок ПТ. Практично корисно вимірювати струми в стінках гілок ПТ, підключених до установки катодного захисту (УКЗ), та в анодному проводі [3, 9], а також біля розгалужень трубопроводів та перед і після технологічних об'єктів чи переходів ПТ через дороги, ріки, заболочені й інші важкопрохідні ділянки траси трубопроводу [3, 9, 12].

Вимірювання струмів у стінках різних гілок ПТ дають інформацію про розподіл витрат струму між трубопроводами та між плечами кожного трубопроводу в зоні дії УКЗ по різні боки від точки дренажу [3] (рис. 1, а). Подібно визначають розподіл струму в стінках між гілками розгалуження ПТ (рис. 1, б) та оцінюють його витрати на різних ділянках.



**Рисунок 1 – Схеми розподілу струму УКЗ підземного газопроводу (за вимірами БІТ-КВП)**

Це дозволяє контролювати розподіл струму УКЗ, виявляти ділянки з аномально великими витратами струму, що вказують на наявність низького перехідного опору «труба-земля», вивчати пошкодження ізоляційного покриття ПТ чи з'єднань трубопроводу з іншими об'єктами. В результаті отримують інформацію для діагностики роботи УКЗ, оперативного виявлення помилок з'єднань, виявлення нераціональних витрат струму, планування деталізаційних обстежень та ремонту ізоляційних покривів ПТ чи коригування схеми підключення УКЗ.

Зокрема, як видно з прикладу, показаного на рис. 1, б, витрата струму на крановому вузлі (засувці) аномально велика і становить 60 мА, що вказує на недостатнє (з погляду електрохімічного захисту трубопроводу) ізолювання кранового вузла від ґрунту. У зоні дії УКЗ (розміщеної на правій відносно відгалуження гілці магістрального газопроводу – куди стікає струм) для двох ділянок (зліва – до розгалуження та знизу – до крану, рис. 1) витрати струму однакові, що свідчить про однаковий перехідний опір на цих ділянках ПТ.

Вказаними вище приладами вимірюють змінну складову випрямленого пульсуючого струму УКЗ [3, 12]. На основі цих безконтактних вимірів струму та коефіцієнтів гармоніки [3] (які можна визначити за додатковими вимірами на трасі) визначають розподіл постійної складової струму катодного захисту [13] та використовують його при інтегральних оцінках перехідного опору «труба-земля» для постійного струму [11].

Стан катодного захисту (поляризаційний потенціал) першочергово слід контролювати на тих гілках ПТ, на які струм УКЗ не поступає зовсім. Потім особливої ваги потребують ділянки з аномально великими витратами струму, виявленими у результаті інтегральних обстежень методом БВС [12]. При потребі, найбільш корозійно небезпечні місця на цих ділянках можна уточнити шляхом диференційних обстежень відповідної гілки ПТ.

Диференційні обстеження методом БВС проводять шляхом визначення розподілу струму вздовж ПТ. Розподіл електричного струму найбільш чутливий до стану ізоляційних покривів та електропровідності ґрунту. Технологію диференційних обстежень розглядаємо на основі проведених натурних випробувань апаратури типу БІТ та обстежень магістральних газопроводів.

Вимірюють струми  $J_n$ , що протікають вздовж ПТ у точках з умовними номерами  $n = 0, 1, 2$  і т.д., рознесених вздовж траси на певні

віддалі – інтервали  $l_n$ . Довжину інтервалів  $l_n$  вибирають початково 10 чи 20 м, збільшуючи чи зменшуючи її у процесі обстежень залежно від швидкості змін струму в стінках вздовж ПТ. Критерієм для вибору значення  $l_n$  може служити різниця струму на кінцях інтервалу, яка має бути не меншою похибки вимірювань струму. Наприклад, при диференційних обстеженнях нових трубопроводів з якісною ізоляцією, коли сила струму повільно змінюється вздовж ПТ, інтервал  $l_n$  можна збільшувати до 50 м. Проте у випадках значної зміни струму інтервал  $l_n$  між безконтактними вимірюваннями струму слід зменшувати до значень, сумірних з глибиною залягання ПТ. Практично зменшувати інтервали між вимірами доцільно шляхом зворотного проходження попередньо вибраного великого інтервалу, що дозволяє уточнювати місце пошкодження ізоляції ПТ.

При використанні апаратури типу БТ-КВП чи БВС результати вимірювань автоматично фіксуються в електронній пам'яті [2-7]; при потребі результати вимірювань можна переглянути на цифровому індикаторі апаратури безпосередньо на трасі. Після проходження певної ділянки ПТ їх передають у персональний комп'ютер для документування і опрацювання, яке здійснюють за допомогою спеціально розроблених програм. Числові результати вимірювань і обчислень формуються програмою у вигляді таблиць та графіків. Приклад графічного представлення результатів безконтактних диференційних регулярних обстежень ділянки магістрального газопроводу показано на рис. 2.

Розподіл вздовж траси сили струму  $J$  і глибини  $h$  залягання ПТ, які отримані за даними БВС на ділянці магістрального газопроводу з інтервалом 10 м між вимірами, показані на рис. 2, а, б.

Якщо у процесі обстежень на трасі були допущені грубі помилки (промахи) при вимірюваннях струму, то при опрацюванні масиву даних розроблена програма DataMng забезпечує вилучення промахів за вибраним критерієм наднормативного відхилення окремих вимірів від тренду розподілу струму вздовж траси. Це необхідно для коректного обчислення параметрів ПКЗ ПТ.

Визначають витрати струму на кожному інтервалі  $l_n$  трубопроводу ( $n \geq 1$ ), розміщеному в одному плечі зони дії джерела зондувального струму

$$\Delta J_n = J_n - J_{n-1} \quad (1)$$

і відносні витрати струму на одиницю довжини трубопроводу – відносну лінійну густину натікання (витікання) струму

$$\delta J_n = \frac{\Delta J_n}{J_{nc} l_n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $J_{nc} = (J_n + J_{n-1})/2$  – середнє на  $n$ -му інтервалі значення струму в стінках ПТ. На рис. 2, в показано відносні витрати струму  $dJ/dL$  та рівень критичної витрати струму, перевищення якого вказує на місця незадовільної ізоляції на даній ділянці ПТ.

Відносна лінійна густина витрат струму  $\delta J_n$  пропорційна електропровідності ізоляційних покривів і є показником пошкодженості ізоляції ПТ: найбільші значення  $\delta J_n$  вказують на місця найбільшої провідності “труба-земля”, тобто найменшого опору захисних покривів. Це ймовірні місця корозії ПТ, що потребують локальних деталізаційних обстежень.

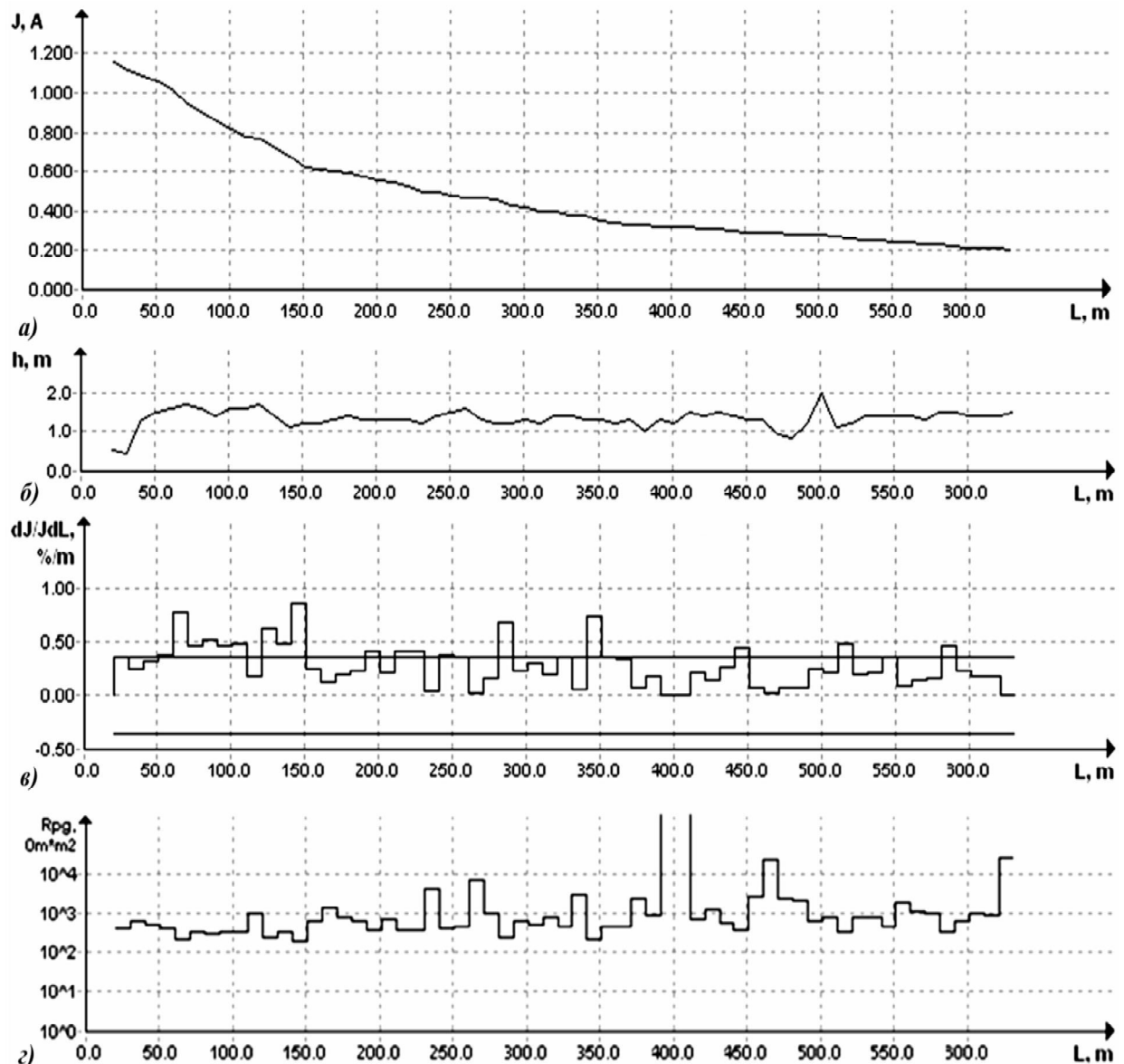
За цими ж даними виявляють ділянки з незадовільною ізоляцією ПТ, використовуючи в якості критерію перевищення відносних витрат  $\delta J_n$  (заникання) струму згідно (2) над критичним заниканням  $\delta J_{кр}$ , яке обчислюють за формулою [9]:

$$\delta J_{кр} = 0,2 \sqrt{f / \rho_g}, \quad (3)$$

де  $f$  – частота зондувального струму, Гц;  $\rho_g$  – питомий електроопір ґрунту, Ом·м. Для даної ділянки траси при  $\rho_g = 30$  Ом·м для струму з частотою  $f = 100$  Гц  $\delta J_{кр} = 0,36$  %/м.

Як видно з рис. 2, в, відносні витрати струму значно перевищують критичне значення на інтервалах довжини траси 60-110 м, 120-150 м, 280-290 м, 340-350 м, 440-450 м, 510-520 м, 580-590 м. Відповідні числові значення є у таблиці протоколу обстеження. Отримані результати дозволяють суттєво зменшувати кількість контактних вимірів потенціалу, необхідних для контролю катодної поляризації ПТ. Якщо на вказаних інтервалах катодний захист забезпечено, та він буде достатнім на всьому протязі даної ділянки ПТ. Отже можна не вимірювати потенціали на інших інтервалах довжини трубопроводу.

На рис. 2, г показано результати обчислення розподілу перехідного опору «труба-земля», який характеризує стан ізоляції ПТ. Для даного трубопроводу з діаметром 500 мм отримано наступні оцінки найменшого перехідного опору для змінного струму  $R_{pg}$  у межах вказаних вище інтервалів відповідно: 205, 182, 102, 211, 353, 323, 342 Ом·м<sup>2</sup>.



а) – розподіл вздовж траси сили струму  $J$ ; б) – залежність зміни струму від глибини  $h$  залягання ПТ; в) – відносні витрати струму  $dJ/JdL$  та рівень критичної витрати струму, перевищення якого вказує місця незадовільної ізоляції на даній ділянці ПТ; з) – результати обчислення розподілу перехідного опору «труба-земля»

**Рисунок 2 – Результати диференційного обстеження ділянки магістрального газопроводу безконтактним вимірювачем струму БВС**

За межами цих інтервалів  $R_{pg} > 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ . Даний трубопровід експлуатують більше 30 років, обстежена ділянка розміщена у вологонасиченому ґрунті.

Використання коефіцієнта гармоніки дозволяє згідно (1) оцінити розподіл постійної складової струму катодного захисту [13]. Крім того, у комплексі з вимірами різниці потенціалів труба-земля отримують кількісні оцінки

розподілу перехідного опору на різних ділянках ПТ для постійного струму [11].

Локальні обстеження без розкопування ПТ полягають у комплексному використанні методу БВС та контактної електрометрії [3, 9]. Такі деталізаційні обстеження першочергово слід проводити на ділянках з аномально великими витратами струму, виявленими за результатами диференційних (регулярних)

обстежень ПТ методом БВС. Це дозволяє, крім названої вище густини струму катодного захисту, додатково визначати поляризаційний потенціал, складові перехідного опору (грунту, ізоляції, поляризації), що дає важливу інформацію для діагностування корозійного стану ПТ.

Прилади, які розроблені у ФМІ НАНУ [1-9] для апаратного забезпечення описаної технології, розділяють на 5 рівнів:

1) вольтметри портативні типу ВП для вимірювання різниці потенціалів, контролю електрохімічного захисту (ЕХЗ);

2) трасошукачі портативні типу ОРТ для визначення місця, напряму й оцінки глибини залягання ПТ та дистанційного контролю роботи УКЗ;

3) глибиномір з вимірювачем потенціалів типу МГВ для обстежень стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів згідно традиційних методик;

4) безконтактні вимірювачі струму і глибини типу БІТ, УГРІ, БВС для визначення розподілу струму між вітками і ділянками та виявлення пошкоджень ізоляції ПТ (оперативні інтегральні та диференційні обстеження);

5) безконтактні вимірювачі струму і глибини з вольтметром типу БІТ-3, БІТ-КВ, БІТ-КВП для інтегральних, диференційних і локальних обстежень та визначення параметрів протикорозійного захисту ПТ.

Використання створених приладів на трасах ПТ показали їх захищеність від електромагнітних завад, у тому числі від впливу ліній електропередач, що дозволяє проводити обстеження не тільки магістральних трубопроводів, а і підземних трубопроводів у населених пунктах, іноді навіть на території підприємств та вулиць з діючим електротранспортом.

Особливості обстежень близько (на відстанях менше 10 м) розміщених паралельних трубопроводів, їх поворотів і т.п. досліджували ряд авторів; тут потрібні подальші спеціальні розробки. Відмітимо лише, що прилади рівнів 2-5 дозволяють виявляти вплив сторонніх об'єктів на результати вимірювань. Це дозволяє враховувати сторонні впливи при практичних обстеженнях ПТ.

Сукупність розроблених методів і засобів складає електромагнітну інформаційно-вимірювальну систему обстежень, яка має широкі можливості, дозволяє підвищувати оперативність, ефективність і достовірність результатів контролю і діагностики технічного стану ПТ [14, 15].

## ВИСНОВОК

Запропоновані технології і засоби для проведення безконтактного вимірювання струмів в стінках підземних газопроводів можуть бути використані в різних виробничих організаціях і дадуть можливість оцінити стан ізоляційних покривів, розподіл струмів в стінках газопроводів тощо при інтегральних, диференційних і локальних обстеженнях цих газопроводів.

## Література

1. Джала Р. М. Метод безконтактних вимірювань струмів для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 1999. – Т.35, №3. – С. 105-112.
2. Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Сенюк О. І. Контроль захисту від корозії підземних трубопроводів апаратурою БІТ-КВП з комп'ютерною обробкою результатів // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів*. – Київ-Львів: ФМІ НАНУ. – 1999. – С. 102-103.
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. – Розд. 5. – С. 263-330.
5. Методи і прилади для пошуку місць корозії та обстежень підземних трубопроводів і споруд / Р.М.Джала, Б.Я.Вербенець // *Міжнародна виставка "Корозія": Каталог* – Львів: ФМІ НАНУ - 2002 – С. 29–30; 2006 - С. 37-38; 2008 - С. 36-37.
6. Електромагнітний метод, прилади і параметри контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів / Р.Джала, Л.Дикмарова, Б.Вербенець, О.Винник, О.Марченко, С.Савула, О.Сенюк, С.Сухорський // *ФХММ. Спецвип.* - № 4. - 2004. - Т.1. - С.432-436.
7. Джала Р., Вербенець Б., Джала В., Сенюк О. Апаратура БІТ-КВП з комп'ютерною обробкою результатів обстежень підземних комунікацій // *Комп'ютерні системи*

проектування: Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2001. – №415. – С. 100-104.

8. Прилади ОПТ, БІТ, ВІП для контролю підземних трубопроводів. / Р.М.Джала, Б.Я.Вербенець, О.Й.Винник, В.Р.Джала, С.Ф.Савула, О.І.Сенюк, О.М.Балашов, А.В.Драгілев, С.О.Сухорський. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (Серія), вип.9: Зб.наук.праць.- Львів: ФМІ НАНУ, 2004. – С. 167-170.

9. Джала Р.М., Дикмарова Л.П., Вербенець Б.Я., Хлипняч П.М. Безконтактний метод і апаратура для оперативних обстежень підземних трубопроводів. / Пробл. ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. - К.: ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАНУ, 2006. – С. 57-61.

10. Інтегральний, диференціальний і локальний контроль ізоляційних покриттів підземних трубопроводів / Р.М.Джала, Б.Я.Вербенець, О.Й.Винник, С.Ф.Савула, О.І.Сенюк // 4-а Національна н.-т. конф. і виставка "Неруйнівний контроль та технічна діагностика". - Київ, 2003. - С. 277-281.

11. Контроль протикорозійного захисту підземних трубопроводів з використанням безконтактних вимірювань струмів / Р. Джала, Л. Дикмарова, Б. Вербенець, О. Винник, А. Гайдук, П. Хлипняч, Т. Шевчук // ФХММ. Спецвип. № 6.- 2007. – С. 240 - 243.

12. Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Коваль Р. І., Хоменко І. П. Контроль розподілу струмів станцій катодного захисту в підземних трубопроводах за допомогою апаратури БІТ-К // Нафтова і газова промисловість. – 1996. – №2. – С. 47-48.

13. Визначення розподілу струму катодного захисту підземних трубопроводів / Р. М. Джала, Л. П. Дикмарова, Б. Я. Вербенець, Р. І. Коваль, Ю. В. Банахевич, О. Й. Винник, А. Р. Гайдук, О. І. Марченко, О. І. Сенюк, О. М. Балашов, В. О. Цибульський // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Вип.7. –Львів: ФМІ НАНУ. – 2002. – С. 98-102.

14. Регламент контролю протикорозійного захисту магістральних газопроводів / Р. М. Джала – Львів: ФМІ НАНУ, ДП "Львівтрансгаз", ГЛПНГ, 1997. – 34 с.

15. Інформаційно-вимірювальна система безконтактних обстежень підземних трубопроводів / Р.М. Джала, Б.Я. Вербенець, В.Р. Джала, Т.І. Шевчук. – Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2008) – К.: НАУ, 2008. – С. 79-81.

**Поступила в редакцію 06.05.2009р.**

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
с.н.с. Муравський Л. І.**