

4. Chornij Z.P. Crystals SrCl<sub>2</sub>-K radiation sensitivity / Z.P. Chornij, I.B. Pirko, V.M. Salapak // Functional materials. – 2011. – Vol. 18, № 2. – Pp. 206-210.

5. Чорний З.П. Іонні процеси в радіаційно забарвлених кристалах галогенідів двовалентних металів : дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: спец. / З.П. Чорний. – Львів, 2000. – 275 с.

6. Чорний З.П. II. Термоактиваційні процеси в радіаційно забарвлених кристалах CaF<sub>2</sub>-Me<sup>+</sup> / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук, О.Р. Онуфрив, А.Д. Кульчицький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.1. – С. 212-217.

7. Чорний З.П. F<sub>2</sub>-центри в кристалах флюоритів, легованих лужними металами / З. П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.Р. Панасюк // Журнал фізичних досліджень : зб. наук. праць. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 1602-1-1602-8.

8. Hayes W. Crystals with fluorite structure / W. Hayes, A.M. Stoneham. – Oxford, 1974. – 448 p.

Надійшла до редакції 28.03.2016 р.

**Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В., Кульчицький А.Д., Онуфрив О.Р. III. Термоактивационные процессы в радиационно окрашенных кристаллах CaF<sub>2</sub>-Na<sup>+</sup>**

В линейной комплементарной модели исследованы термоиндуцированные процессы в радиационно окрашенных кристаллах CaF<sub>2</sub>-Na. При температурах T<100 K в окрашенных кристаллах существуют четыре типа комплементарных пар центров окраски: (F<sub>A</sub>-V<sub>K</sub>), (F<sub>A</sub>-V<sub>KA</sub>(1)), (F<sub>A</sub>(1)-V<sub>K</sub>), (F<sub>A</sub>(1)-V<sub>KA</sub>)-пары, а при T>200 K – лишь один тип центров окраски: (M<sub>A</sub><sup>+</sup>-V<sub>KA</sub>)-пары. Проанализированы механизмы, которые влияют на изменение структуры центров окраски и релаксации энергии, запасенной кристаллом в процессе облучения. Показано, что термическое обесцвечивание кристалла обусловлено дырочными процессами, а термоиндуцированные превращения центров окраски происходят вследствие ионных процессов.

**Ключевые слова:** кристаллы, радиация, центры окраски.

**Chorniy Z.P., Pirko I.B., Salapak V.M., Dyachuk M.V., Kulchitskiy A.D., Onufriv O.R. Thermal Radiation-induced Processes in Radiation-colored Crystals of CaF<sub>2</sub>-Na. Part 3**

At temperatures T<100 K in colored crystals, there are four types of complementary pairs of color centers. They are the following: (F<sub>A</sub>-V<sub>K</sub>), (F<sub>A</sub>-V<sub>KA</sub>(1)), (F<sub>A</sub>(1)-V<sub>K</sub>), (F<sub>A</sub>(1)-V<sub>KA</sub>)-couples, and at T>200 K the is only one type of color centers such as (M<sub>A</sub><sup>+</sup>-V<sub>KA</sub>)-pary. Mechanisms that lead to changing patterns of color centers and relaxation crystal energy stored during exposure are analysed. The research has shown that thermal discoloration is caused by crystal hole processes and thermal radiation-induced color centers occur as the result of ionic processes.

**Keywords:** crystals, radiation, color centers, complementary pairs.

УДК 621.643

**КОРОЗИЯ ПІДЗЕМНИХ ГАЗОПРОВОДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ПІД ДІЄЮ ЗМІННОГО СТРУМУ**

**Л.Я. Побережний<sup>1</sup>, А.В. Яворський<sup>2</sup>**

Під час експлуатації підземних газових мереж низького тиску не приділяють уваги боротьбі з електрокорозією під дією змінного струму. При цьому інтенсивні корозійні руйнування проходять у місцях стікання постійного струму зі зовнішньої поверхні в електроліт (грунт або воду). Проведено моніторинг корозійних уражень розподільчих

трубопроводів "Івано-Франківськгаз". Виявлено локальні корозійні ураження, які за формою і глибиною відповідають електрокорозійним. Показано, що електрокорозія розподільчих газопроводів може бути зумовлена помилковим або навмисно неправильним підключенням електроприладів. Зафіксовано натікаючі струми навіть на малопотужних побутових приладах силою близько 4 А, що залежно від фізико-хімічних властивостей ґрунту відповідає густині струму на дефекті від 8,9 до 310 А/м<sup>2</sup> за максимального нормативного значення 10 А/м<sup>2</sup>.

**Ключові слова:** розподільчі газопроводи, електрокорозія, розгерметизація трубопроводів, втрати природного газу.

**Вступ.** Підземні трубопроводи є важливим елементом нафтогазового комплексу України та відіграють надзвичайно важливу роль у житті сучасного суспільства, виступаючи гарантом його енергетичної незалежності. Забезпечення безперебійної роботи трубопровідного транспорту із врахуванням усіх особливостей його експлуатації (нанесення захисного покриття, контроль за роботою катодних станцій, моніторинг стану трубопроводів) є першочерговою і необхідною задачею уникнення аварій та відмов, що призводять до втрати цілісності труби. Значна частина аварій (>80 %) на трубопроводах є наслідком перебігу різних форм корозії: загальної корозії, щілинної корозії під покриттям, що відшарувалося, точкової корозії, корозійного розтріскування під напруженням тощо.

Проблема підсилюється ще й тим, що в умовах експлуатації трубопроводів, як правило, піддається одночасному впливу механічних навантажень (деформація), зносу і корозійно-активних середовищ. Така сумісна дія може спричинити пришвидшене корозійно-механічне руйнування трубопроводів, яке значно інтенсифікується під дією полів блукаючих струмів. Під час експлуатації підземних газових мереж низького тиску майже не приділяють уваги боротьбі з електрокорозією під дією змінного струму, вважаючи, що ця проблема торкається лише протяжних магістральних газопроводів за суміжного пролягання з лініями електропередач [1]. Термін "електрокорозія" зазвичай пов'язаний з протіканням постійного струму в підземній металокопструкції.



**Рис. 1. Фрагменти підземного газопроводу низького тиску (Ø 60 мм) з наявними електрокорозійними дефектами типу "свищ"**

джерела даних блукаючих струмів знаходяться поза металокопструкцією: електрифікований транспорт, системи катодного захисту, шахтні системи електропостачання постійним струмом тощо. При цьому інтенсивні корозійні руйнування проходять у місцях стікання постійного струму зі зовнішньої поверхні в електроліт (грунт або воду). Вітчизняна і світова практика експлуатації підземних металокопструкцій визнає цю проблему і враховує її.

<sup>1</sup> проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

<sup>2</sup> доц. А.В. Яворський, канд. техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу

Проте останнім часом під час експлуатації підземних металічних газопроводів низького тиску, які знаходяться поза зоною розтікання блукаючих струмів, виникають характерні для електродкорозії дефекти типу "свищ" (рис. 1), що потребує спеціального дослідження і пояснення.

**Матеріали та методи.** Об'єктом досліджень вибрано труби зі сталі Ст 3 діаметром 219 із товщиною стінки 6 мм. З цієї сталі виготовляють трубопроводи низького та середнього тиску. Дослідження електрокорозії матеріалу труби змінним струмом проводили на установці, розробленій та створеній на базі ІФНТУНГ у науково-дослідній лабораторії корозійно-механічної деградації матеріалів і конструкцій.

Загальний вигляд розробленої установки показано на рис. 2.

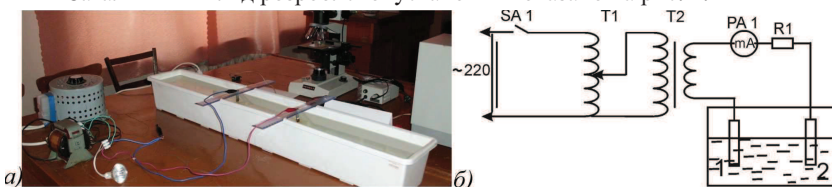


Рис. 2. Загальний вигляд (а) та принципова схема (б) установки для визначення швидкості корозії в агресивних середовищах під впливом змінного струму: SA 1 – вимикач, T1 – трансформатор ТМ-56, T2 – ЛАТР LTC-500, PA 1 – амперметр, R1 – додатковий опір, 1, 2 – зразки-моделі

**Результати.** Проведені на цей час дослідження [2, 3] вказують на взаємозв'язок наведених корозійних процесів з протіканням змінного струму в стінках підземного трубопроводу, проте ці дослідження не вказують на швидкість розвитку корозійних процесів під дією змінного струму. Сучасна нормативна база (ДСТУ Б В.2.5-29:2006 Система газопостачання. Газопроводи сталеві підземні. Загальні вимоги до захисту від корозії) регламентує небезпечну дію змінного струму за густиною вище за 1 мА/см<sup>2</sup> (10 А/м<sup>2</sup>), проте оперативне безконтактне визначення натікання струму на підземну частину газопроводу низького тиску і автоматичний захист від його корозійної дії є поки ще не вирішеною задачею.

Основними причинами виникнення змінних струмів натікання і попадання їх на газопроводи низького тиску є:

- непрофесійна експлуатація діючої системи електропостачання, наприклад, використання газопроводів як нульових робочих провідників;
- відсутність ізоляції газових ввідів у споруди;
- некоректне підключення електроспоживачів (газові котли, газові плити з електророзпалом), які зв'язують газопровідну систему зі системою електропостачання;
- пошкодження у процесі експлуатації кабельних ліній і/або електрообладнання в зоні пролягання газопроводів;
- застосування газопроводів як заземлювача під час крадіжки електричної енергії.

Щодо останньої наведеної причини (крадіжки електроенергії), зупинимося детальніше, оскільки вона переросла відносно нову проблему для газового господарства, що пов'язана з корозійним руйнуванням сталених ввідів газопроводів у житлові будинки. На основі сучасних літературних джерел [4] можна

виділити три основні схеми (рис. 2), які використовують для крадіжки електроенергії для систем електропостачання з найбільш поширеними індукційними електророзподільниками із застосуванням газопроводів як заземлювачів.

Найбільш досконалою є схема, за якою між фазовим провідником електророзподільника і заземленням (газопровід) вмикається потужний автотрансформатор, вторинна обмотка якого приєднується до струмової обмотки електророзподільника, регулюючи автотрансформатор і подаючи струмовий сигнал у протифазі до сигналу на струмовій обмотці електророзподільника досягається його гальмування чи реверсне обертання за правильного підключення навантаження. Остання схема є найбільш небезпечною щодо електрокорозії, оскільки значення струму в лінії газопроводу, під час реверсивного обертання диска електророзподільника і підключеного навантаження, можуть сягати кількох десятків ампер, що може спричинити надзвичайно швидке руйнування металу в середовищі ґрунтового електроліту.

**Обговорення результатів.** Під час контролю протікання змінного струму в стінках газопроводу, варто зазначити, що однією з особливостей є зміна величини струму (до повного зникнення в певні моменти часу) залежно від зміни величини електричного навантаження в електромережі. Як зазначено вище, одним із шляхів визначення натікання змінного струму на металічний газопровід є розроблення методів і засобів для безконтактного вимірювання величини струму, особливо в умовах крадіжки електроенергії.

Для оцінювання небезпеки прискорення натікаючим струмом корозійних процесів потрібно перейти від показників сили струму до його густини на дефекті. Стандартна методика розрахунку полягає у визначенні густини струму на дефекті покриття круглої форми, оскільки за результатами обстежень, найчастіше трапляються дефекти захисного покриття круглої форми або проколи діаметром 0,005 м. У нормативній документації площа стандартного дефекту в ізоляційному покритті дорівнює 6,25 · 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup> (d = 0,0282 м), у зарубіжних стандартах площу дефекту прийнято 1 · 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup> (d = 0,0112 м). За сталого діаметра дефекту в захисному покритті густина змінного струму буде тим вищою, чим меншим є електричний опір ґрунту (табл.).

Табл. Питомий опір ґрунтів різних типів

Тип ґрунту	Питомий електричний опір ґрунту, Ом·м
Пісок	400-1000 і більше
Супісок	150-400
Суглинок	40-150
Глина	8-70
Чорнозем	10-50
Горф	20

Густина струму  $J_{zc}$  на дефекті загалом виражається формулою

$$J_{zc} = \frac{I_{zc}}{S_{def}}, \quad (1)$$

де:  $I_{zc}$  – сила натікаючого струму, А;  $S_{def}$  – площа дефекту, м<sup>2</sup>.

З урахуванням показників опору ґрунту отримуємо

$$J_{zc} = \frac{2,548 \cdot U_{zc}}{\rho \cdot d}, \quad (2)$$

де:  $d$  – діаметр дефекту ізоляції, м;  $\rho$  – електричний опір ґрунту, Ом·м.

Підставивши нормативні розміри дефекту, отримаємо значення густини струму. Зафіксовано показник сили струму натікання 3,88 А. Отже, за формулою (1) йому відповідатиме значення 6208 А/м<sup>2</sup>, а з урахуванням питомого опору ґрунту (див. табл.) отримаємо такі усереднені значення: для піщаних ґрунтів – 8,9 А/м<sup>2</sup>, для супісків – 22,5 А/м<sup>2</sup>, для суглинків – 65,4 А/м<sup>2</sup>, для глинистих ґрунтів – 159 А/м<sup>2</sup>, для чорноземів і торфовищ – 206 та 310 А/м<sup>2</sup>. Враховуючи, що нормативно допустима величина густини струму на дефекті становить 10 А/м<sup>2</sup>, можемо зробити висновок про значні ризики розвитку електрокорозії та пов'язаної з нею розгерметизації газопроводів низького і середнього тиску у більшості областей України. Отже, надалі потрібно продовжити системні дослідження електрокорозії матеріалу розподільчих газових мереж з метою запобігання позаштатним ситуаціям та втратам газу.

**Висновки.** Проведено моніторинг корозійних уражень розподільчих трубопроводів "Івано-Франківськгаз". Виявлено локальні корозійні ураження, які за формою і глибиною відповідають електрокорозійним. З'ясовано, що електрокорозія розподільчих газопроводів може бути зумовлена помилковим або навмисно неправильним підключенням електроприладів.

На малопотужних побутових приладах (газова плита з електрозапалом) зафіксовано натікаючі струми силою 3,88 А, що для різних типів ґрунтів відповідає густині струму від 8,9 до 310 А/м<sup>2</sup> і свідчить про високу небезпеку розвитку електрокорозійних процесів.

### Літератури

1. Джала Р.М. Електрохімічний захист підземного трубопроводу в зоні впливу електропередач / Р. Джала, Б. Вербенець, О. Винник, Ю. Гужов, Р. Савула // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – В 2-х т. / Спец. вип. журналу "Фізико-хімічна механіка матеріалів". – № 8. – Львів : Вид-во ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2010. – Т. 2. – С. 498-503.
2. Michael Horton. "Corrosion effects of electrical grounding on water pipe". Corrosion 91 The NACE Annual Conference and Corrosion Show. – March 11-15 1991 Cincinnati, Ohio.
3. Григорьев О.А. Неисправности систем электроснабжения зданий ускоряют коррозию трубопроводов / О.А. Григорьев, В.С. Петухов, В.А. Соколов. – Житомир : Изд-во "Новости электротехники". – 2003. – № 4 (22). [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.tesla.ru/publications/files/018.pdf>.
4. Красник В.В. 102 способа хищения электроэнергии / В.В. Красник. – М. : Изд-во ЭНАС, 2010. – 160 с. – (Рынок электроэнергии).

Надійшла до редакції 30.03.2016 р.

### **Побережний Л.Я., Яворский А.В. Коррозия подземных газопроводов низкого давления под действием переменного тока**

При эксплуатации подземных газовых сетей низкого давления почти не уделяется внимание борьбе с электрокоррозией под действием переменного тока. При этом интенсивные коррозионные разрушения проходят в местах стока постоянного тока с внешней поверхности в электролит (почву или воду). Проведен мониторинг коррозионных поражений распределительных трубопроводов "Ивано-Франковскгаз". Виявлено локальные коррозионные поражения, по форме и глубине соответствуют электрокорозионным. Показано, что электрокоррозия распределительных газопроводов может быть обусловлена ошибочным или намеренно неправильным подключением электроприборов. Даже на

маломощных бытовых приборах зафиксированы натекающие токи силой около 4 А, что в зависимости от физико-химических свойств почвы соответствует плотности тока на дефекте от 8,9 до 310 А/м<sup>2</sup> при максимальном нормативном значении 10 А/м<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** распределительные газопроводы, электрокоррозия, разгерметизация трубопроводов, потери природного газа.

### **Poberezhny L.Ya., Yavorsky A.V. Corrosion of Underground Low Pressure Gas Pipelines under Alternate Current**

When operating underground gas networks of low pressure almost no attention is paid to the fight against electrocorrosion under AC. This intensive corrosion in places is draining DC external surface of the electrolyte (soil or water). A monitoring corrosion lesions distribution pipelines "Ivano-Frankivskgas" Local corrosion detected lesions that form and depth correspond to electrocorrosion damages. It is shown that electrocorrosion of distribution pipelines can be caused by erroneous or intentionally wrong connecting appliances. There stray current power even in low-power home appliances fixed at 4 A, depending on the physical and chemical properties of the soil meets the current density to defect from 8.9 to 310 A/m<sup>2</sup> at maximum standard value of 10 A/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** stray current, distribution pipelines electrocorrosion, decompression pipelines, natural gas leaks.

УДК 666.94:614.814

### **ВПЛИВ ГІДРОФОБНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**М.М. Гивлюд<sup>1</sup>, В.-П.О. Пархоменко<sup>2</sup>, І.В. Маргаль<sup>3</sup>**

Вивчено вплив силіційвмісних гідрофобізаторів на довговічність бетонних будівельних конструкцій, які експлуатуються в умовах високої вологості за рахунок гідрофобізації її поверхні поліметилфенілсилоксановим лаком КО-08. Встановлено вплив концентрації гідрофобізатора на глибину проникнення та доведено утворення міцного зв'язку з поверхнею бетону. Методами фізико-хімічного аналізу підтверджено можливість зниження водопоглинання бетону у 5-8 разів, що надалі призводить до підвищення його корозійної стійкості, а також встановлено оптимальну концентрацію гідрофобізатора (45 мас. %) для отримання задовільних показників водопоглинання та глибини його проникнення у бетон до 12 мм.

**Ключові слова:** бетон, водопоглинання, проникність, рельєф поверхні, довговічність.

**Постановка проблеми.** Бетонні конструкції завдяки значній відкритій пористості володіють високим показником водопоглинання, що призводить до зростання теплопровідності та зниження морозостійкості під час експлуатації у вологих умовах. Тому для збільшення довговічності експлуатації цих матеріалів на сьогодні використовують додаткове оброблення готових виробів та конструкції гідрофобізувальними речовинами або захисними покриттями. Гідрофобізувальні розчини можливо наносити на попередньо очищену висушену поверхню матеріалу розпиленням до повного її насичення. Але такий метод є технологічно складний та дороговартісний.

Найбільш надійним та універсальним засобом захисту будівельних конструкцій від дії агресивних зовнішніх середовищ є використання гідрофоб-

<sup>1</sup> проф. М.М. Гивлюд, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>2</sup> ад'юнкт В.-П.О. Пархоменко – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

<sup>3</sup> доц. І.В. Маргаль, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"