

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ

УДК 535.343.2

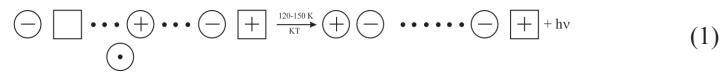
III. ТЕРМОАКТИВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У РАДІАЦІЙНО ЗАБАРВЛЕНИХ КРИСТАЛАХ $\text{CaF}_2\text{-Na}^+$

З.П. Чорній¹, І.Б. Пірко², В.М. Салапак³, М.В. Дячук⁴,
А.Д. Кульчицький⁵, О.Р. Онуфрив⁶

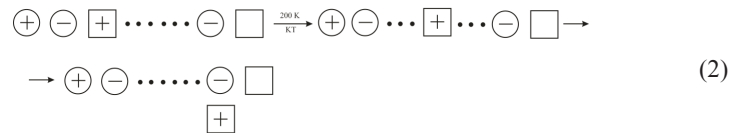
У лінійній комплементарній моделі досліджено термоіндуковані процеси у радіаційно забарвлених кристалах $\text{CaF}_2\text{-Na}$. За температур $T < 100$ К у забарвлених кристалах існують чотири типи комплементарних пар центрів забарвлення: $(F_A - V_K)$, $(F_A - V_{KA}(1))$, $(F_A(1) - V_K)$, $(F_A(1) - V_{KA})$ -пари, а за $T > 200$ К – тільки один тип центрів забарвлення: $(M_A^+ - V_{KA})$ -пари. Проаналізовано механізми, які зумовлюють зміну структури центрів забарвлення та релаксації енергії, запасеної кристалом у процесі опромінення. Показано, що термічне знебарвлення кристала зумовлене дірковими процесами, а термоіндуковані перетворення центрів забарвлення відбуваються внаслідок іонних процесів.

Ключові слова: кристали, радіація, центри забарвлення.

1.1. Кристали з дефектами дипольного типу. За низькотемпературного опромінення ($T < 100$ К) кристалів флюоритів, легованих лужними металами, іонізуючою радіацією зонні електрони захоплюються аніонними вакансіями, які входять до складу домішково-вакансійних диполів, а дірки або автолокалізуються у ґратці кристала, або локалізуються біля іонів лужного металу [1-5]. Отже, наслідком опромінення кристала є утворення у ґратці кристала двох типів комплементарних пар центрів забарвлення: $(V_K - F_A)$ і $(V_{KA}(1) - F_A)$ -пар. У кристалах флюоритів діркові центри забарвлення мають низьку термічну стабільність. За температур вище 100 К V_K -центри стають мобільними, рекомбінують з F_A -центрами, що зумовлює зникнення $(V_K - F_A)$ – комплементарних пар [5]:



$V_{KA}(1)$ -центри термічно стабільні до температури $T \approx 200$ К. За вищих температур існує термодисоціація $V_{KA}(1)$ -центрив. Мобільні аніонні вакансії захоплюються F_A -центрами – у ґратці кристала виникають M_A^+ -центри.



¹ проф. З.П. Чорній, д-р фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів;
² доц. І.Б. Пірко, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів;
³ доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів;
⁴ ст. викл. М.В. Дячук – НА друкарства;
⁵ доц. А.Д. Кульчицький, канд. фіз.-мат. наук – НА друкарства;
⁶ доц. О.Р. Онуфрив, канд. фіз.-мат. наук – НА друкарства

У рівняннях (1)-(2) використано такі позначення:

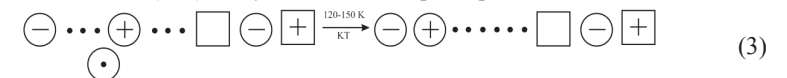
- – крапками позначено іони основи кристала;
- \ominus – іон лужного металу (Me^+)-іон;
- \oplus – аніонна вакансія (V_a^+);
- $\ominus \oplus$ – домішково-вакансійний диполь (ДВД);
- \square – F -центр (аніонна вакансія, яка захоплена на ДВД);
- $\ominus \square$ – F_A -центр;
- \oplus – мобільна дірка (F^0 -центр, атом фтору);
- $\oplus \ominus$ – V_{KA} -центр (дірка, яка локалізована біля іона лужного металу);
- $\oplus \ominus \oplus$ – $V_{KA}(1)$ -центр (центр, який захопив одну аніонну вакансію);
- \square – M^+ -центр (електрон, який захопила бівакансія);
- $\ominus \square$ – M_A^+ -центр (M^+ -центр, розміщений біля іона лужного металу).

Принципова відмінність між реакціями (1) і (2) полягає в такому. Реакція 1 є електронно-дірковим процесом. Мобільна дірка захоплюється електронним центром (F_A -центром), відбувається дірково-електронна рекомбінація (релаксація електронно-діркової пари), зникає у ґратці кристала комплементарна пара центрів забарвлення і відновлюється структура дорадіаційних дефектів (диполів).

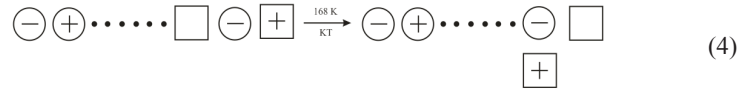
Реакція 2 зумовлена іонними процесами. Вивільнена внаслідок термодисоціації $V_{KA}(1)$ -центра аніонна вакансія захоплюється F_A -центром. Відбувається термоактиваційний обмін аніонною вакансією між дірковим і електронним центрами забарвлення, що призводить до зміни структури центрів забарвлення: $(F_A - V_{KA}(1))$ -пари центрив перетворюються в $(M_A^+ - V_{KA})$ -центри. При цьому сумарна концентрація центрив забарвлення зберігається.

На рис. 1 і 3 (рис. 1-12 наведено у попередній роботі [6]) наведено розраховані криві термічного знебарвлення $(V_K - F_A)$ -пар (крива 1), $(V_{KA}(1) - F_A)$ -пар (крива 2) і наростання $(V_{KA} - M_A^+)$ -комплементарних пар центрив забарвлення (крива 3) для кристалів $\text{CaF}_2\text{-}0,2$ мол. % NaF і $\text{CaF}_2\text{-}0,025$ мол. % NaF відповідно. Для зазначених кристалів криві термічного спаду F_A -центрив (крива 1) і наростання M_A^+ -центрив (крива 2) наведено на рис. 2 і 4.

1.2. Кристали з термічно нерівноважними точковими дефектами. У кристалах $\text{CaF}_2\text{-Na}$ за низьких температур можна створити термічно нерівноважні дефекти типу $(\text{Me}^+) - (V_a^+)(\text{Me}^+)(V_a^+)$ -комплементарних пар. Під час опромінення кристала зазначені дефекти локалізують на собі носії електричного заряду за низьких температур, у кристалі утворюються $(V_K - F_A(1))$ та $(V_{KA} - F_A(1))$ -пари центрив забарвлення [2, 7]. Під час нагріву забарвлених кристалів внаслідок термоактиваційних процесів центри забарвлення змінюють свою структуру. У температурній області 120-150 К V_K -центри стають мобільними і захоплюються іонами (Na^+), існує $V_K \rightarrow V_{KA}$ -перетворення



Наступні термоактиваційні процеси відбуваються у забарвлених кристалах $\text{CaF}_2\text{-Na}$ за температури $T_r=168\text{ K}$, де T_r – температура ротації аніонної вакансії в околі домішкового іона. Внаслідок ротаційних скачків аніонна вакансія розташовується по сусідству з F-центром, одновакансійний електронний F-центр перетворюється в бівакансійний M^+ -центр



На рис. 5 і 7 наведені розраховані криві спаду концентрацій $(V_K - F_A(1))$ -пар (крива 1), $(V_{KA} - F_A(1))$ -пар (крива 2) і наростання $(V_{KA} - M_A^+)$ -пар (крива 3) центрів забарвлення. Криві термічного знебарвлення $F_A(1)$ і наростання M_A -центрів наведено на рис. 6 і 8.

1.3. Кристали $\text{CaF}_2\text{-Na}$ із змішаним типом дефектів. Під терміном "змішаний" тип дефектів розглянуто кристали, що містять як термічно рівноважні точкові структурні дефекти $(\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+ - (\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+$ -пари, так і термічно нерівноважні пари точкових дефектів $(\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+ - (\text{V}_a)^+(\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+$ -пари. Кристали із змішаним типом дефектів отримують за низькотемпературного оптичного знебарвлення M_A^+ -центрів. У цій роботі кристали із змішаним типом дефектів отримано шляхом попереднього опромінення кристалів за температури 80 K з наступним прогрівом забарвленого кристала до температури 250 K і оптичним знебарвленням за 80 K.

Якщо кристали із змішаним типом структурних дефектів повторно опромінити за 80 K, то в них генеруються як центри забарвлення, характерні для дефектів дипольного типу $(F_A - V_K)$ і $(F_A - V_{KA}(1))$ -комплементарні пари, так і центри, характерні для термічно нерівноважних дефектів $(F_A(1) - V_K)$ і $(F_A(1) - V_{KA})$ -пари центрів. Тому в повторно опроміненні кристалах незалежно один від одного протікають чотири типи термоактиваційних процесів, які описуються рівняннями (1)-(4). Характер термоактиваційних процесів, які протікають в повторно опроміненні кристалах, ілюструють дані, наведені на рис. 9-12 [6].

2. Обговорення результатів досліджень.

2.1. Термоіндуковані процеси у забарвлених кристалах з дефектами дипольного типу. Іони лужного металу (Me^+) -іони входять у гратку кристалів флюоритів у вигляді іонів заміщення і негативно заряджені відносно гратки кристала. Компенсацію електричного заряду здійснює вакансія фтору (аніонна вакансія) [5]. За $T>350\text{ K}$ домішкові іони та аніонні вакансії просторово розділені; домішкові іони нерухомі у гратці кристала, аніонні вакансії мобільні



За $T<350\text{ K}$ внаслідок кулонівської взаємодії у гратці кристала утворюються домішково-вакансійні диполі



Перехід від просторового способу компенсації електричного заряду точкових дефектів (рівняння (5.1)) до локального способу (рівняння (5.2)) зменшує

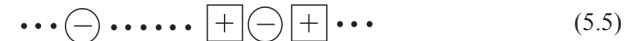
енергію кристалічної гратки: при утворенні диполя енергія пари дефектів кристалічної гратки зменшується на величину $E_k \approx 1,0\text{ eV}$ [5], де E_k – енергія кулонівської взаємодії між домішковим іоном та вакансією в домішково-вакансійному диполі (ДВД). Якщо кристал з дорадіаційними дефектами дипольного типу (рівняння (5.2)) опромінити іонізуючою радіацією за низьких температур, за яких діркові та іонні процеси "заморожені", то внаслідок локалізації носіїв електричного заряду на ДВД у гратці кристала утворюються $(F_A - V_K)$ і $(F_A - V_{KA}(1))$ -комплементарні пари:



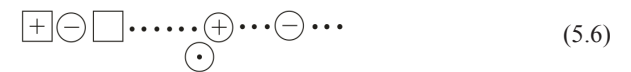
Генеровані радіацією $F_A, V_K, V_{KA}(1)$ -центри забарвлення володіють надлишковим відносно гратки кристала електричним зарядом і просторово розділені. Тобто внаслідок опромінення кристала іонізуючою радіацією (при забарвленні кристала) відбувається радіаційно стимульована зміна способу компенсації електричного заряду дефектів – перехід від локального способу (рівняння (5.2)) до просторового способу (рівняння (5.3) і (5.4)) компенсації електричного заряду. Такий перехід підвищує потенціальну енергію дефектів: на 1,0 eV у випадку, коли радіація генерує $(F_A - V_K)$ -пару і на 0,5 eV, коли утворюється $(F_A - V_{KA}(1))$ -пара центрів.

2.2. Кристали з термічно нерівноважними точковими дефектами.

Термін термічно "нерівноважні дефекти" відносять до комплементарних дефектів, що мають структуру $(\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+(\text{Me}^+)(\text{V}_a)^+$:



Термічно нерівноважні дефекти (рівняння (5.5)) утворюються за низькотемпературного оптичного знебарвлення V_{KA} та M_A^+ -центрів. З утворенням кожної пари даних дефектів енергія кристалічної гратки зростає на 0,5 eV. Під час опромінення кристала нерівноважні точкові дефекти (рівняння (5.5)) локалізують на собі електрони і дірки, внаслідок чого утворюються $(F_A(1) - V_K)$ і $(F_A(1) - V_{KA})$ -комплементарні пари центрів забарвлення:



При реалізації реакції (5.6) просторовий спосіб компенсації електрично заряджених дефектів зберігається і, відповідно, надлишкова потенціальна енергія дефектів зберігається. Якщо під дією радіації утворюються центри забарвлення дипольного типу (рівняння (5.7)), то відбувається релаксація потенціальної енергії дефектів – за утворенням кожної пари центрів забарвлення потенціальна енергія зменшується на 0,5 eV.

2.3. Повторно опромінені кристали. У повторно опроміненних кристалах утворюються всі чотири типи центрів забарвлення: $(F_A - V_K)$, $(F_A - V_{KA}(1))$, $(F_A(1) - V_K)$, $(F_A(1) - V_{KA})$ -комплементарні пари (рівняння (5.3), (5.4), (5.6) і (5.7) відповідно). Усі зазначені центри зберігають свою структуру лише за низьких температур, за яких діркові та іонні процеси "заморожені". Внаслідок нагріву кристала всі чотири типи комплементарних пар зникають (рис. 1, 3, 5, 7, 9, 11): за температур $T > 200$ К у спектрах поглинання спостерігаються лише $(M_A^+ - V_{KA})$ -комплементарні пари (рис. 2, 4, 6, 8, 10, 12) [3]



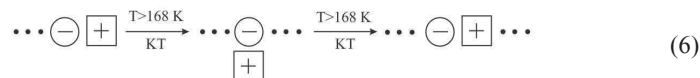
Отже, за $T > 200$ К забарвлений кристал містить лише центри забарвлення, які мають структуру електричних диполів, оскільки при цій структурі потенціальна енергія іонної підсистеми кристала мінімальна.

2.4. Дірковий механізм релаксації центрів забарвлення. Комплементарні пари, до складу яких входять V_K -центри (конфігурації (5.3) і (5.6)) термічно стабільні лише за низьких температур, за яких V_K -центри "вморожені" у ґратку кристала. За температур $T > 100$ К V_K -центри стають мобільними і рекомбінують з F_A -центрами (рівняння (1)) або захоплюються іонами лужного металу (рівняння (3)). У першому випадку внаслідок випромінювальної рекомбінації $(F_A - V_K)$ - комплементарна пара руйнується (знебарвлюється, рис. 1, крива 1; рис. 3, крива 1) і, відповідно, дипольна структура дорадіаційних дефектів відновлюється (рівняння (1)) – запасена забарвленим кристалом надлишкова потенціальна енергія релаксує у вигляді термічного висвічування.

У випадку кристалів з термічно нерівноважними структурними дефектами (конфігурація (5.5)) релаксація V_K -центрів протікає за схемою, яка описується рівнянням (3): мобільна дірка локалізується біля іона лужного металу з утворенням домішково-діркового електричного диполя, що зумовлює релаксацію потенціальної енергії іонної підсистеми кристала. При цьому запасена внаслідок забарвлення енергія електронної підсистеми кристала зберігається, концентрація центрів забарвлення залишається сталою. Зменшення концентрації V_K -центрів (рис. 5, крива 1; рис. 7, крива 1) зумовлює синхронне збільшення концентрації V_{KA} -центрів (рис. 5, крива 2; рис. 7, крива 2).

2.5. Іонні процеси у забарвлених кристалах флюоритів. Відомо [8], що у кристалах флюоритів іонні процеси зумовлені міграцією аніонних вакансій. У кристалах CaF_2-Na за $T < 350$ К вакансії іонів фтору розміщені по сусідству із іонами лужного металу – у кристалі утворюється домішково-вакансійний диполь (ДВД).

За температур $T < 168$ К аніонні вакансії "вморожені" у ґратку кристала, а за $T > 168$ К аніонні вакансії здійснюють термоактиваційні перескоки по восьми еквівалентних позиціях іона фтору, які складають ближнє оточення Na^+ -іона



Енергія активації цього процесу 0,51 еВ [5]. Отже, за $T \approx 168$ К аніонна вакансія здійснює ротацію в околі Na^+ -іона (локальну міграцію) без просторового переміщення. Просторове переміщення аніонної вакансії проявляється за температур $T > 200$ К і зумовлена термодисоціацією $V_{KA}(1)$ -центрів



Енергія термодисоціації $V_{KA}(1)$ -центра дорівнює [5]

$$E_d = E_0 + \frac{1}{4} E_k$$
(8)

де: E_0 – енергія активації міграції вільної аніонної вакансії; E_k – енергія кулонівської взаємодії між домішковим іоном і аніонною вакансією в ДВД.

Завдяки іонним процесам забарвлені кристали флюоритів змінюють структуру центрів забарвлення (рівняння (2) і (4)):

- за температури $T = 168$ К одновакансійний $F_A(1)$ -центр внаслідок внутрішньо-центрових процесів перетворюється у бівакансійний M_A^+ -центр (рівняння (4), рис. 6 і 8, криві 1 і 2).
- за температури $T = 200$ К F_A -центр захоплює вільні аніонні вакансії, утворюється M_A^+ -центр (рівняння (2), рис. 2 і 4, криві 1, 2).

Термоіндуковані перетворення за 168 К протікають у кристалах флюоритів, які містять термічно нерівноважні структурні дефекти (рівняння (5.5)), за 200 К – у кристалах з дефектами дипольного типу (рівняння (5.2)). У повторно опроміненних кристалах M_A^+ -центри утворюються як за $T = 168$ К, так і за 200 К (рис. 10, 12, криві 1, 2, 3), що підтверджується на експерименті [3, 4]. Зазначимо, що незалежно від типу дорадіаційних дефектів кристалічної ґратки і структури комплементарних пар центрів забарвлення кінцевим результатом термоіндукованих перетворень є виникнення $(M_A^+ - V_{KA})$ - комплементарних пар, які мають структуру дипольного типу, а, отже, рівняння 1-4 відображають механізми, згідно з якими релаксує запасена кристалом у процесі опромінення енергія кристалічної ґратки.

Зазначимо принципову різницю у релаксаційних процесах, які протікають у кристалі флюоритів з дефектами дипольного типу (конфігурація (5.2)) і зарядженими дефектами (конфігурація (5.5)). У першому випадку релаксація запасеної кристалом у процесі опромінення енергії відбувається в основному внаслідок рекомбінаційних процесів (рівняння (1), рис. 1 і 3, криві 1) і тільки орієнтовно 25 % центрів забарвлення зазнає термоіндукованих перетворень ($F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворення, рис. 2 і 4, крива 2). У другому випадку рекомбінаційні процеси відсутні. Під час нагрівання забарвленого кристала відбувається лише зміна структури центрів забарвлення (рис. 5, 7, криві 1, 2 і 4). Сумарна концентрація створених радіацією центрів забарвлення у діапазоні температур 78-300 К залишається сталою (рис. 6 і 8, криві 1 і 2).

Література

1. Chornij Z.P. Phys. Stat. Sol. / Z.P. Chornij. – 2001. – Vol. 223. – Pp. 757-765.
2. Chornij Z.P. Physic of strong body / Z.P. Chornij. – 2004. – Vol. 48/2. – Pp. 239-242.
3. Kachan S.I. Relaxation properties of defect complexes in $SrCl_2-Tl^+$ crystals / V.M. Salapak, Z.P. Chornij and other // Functional materials. – 2004. – Vol. 11. – Pp. 696-701.

4. Chornij Z.P. Crystals SrCl₂-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 CaF₂-Me⁺ / 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. F₂-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 CaF₂-Na⁺

В линейной комплементарной модели исследованы термоиндуцированные процессы в радиационно окрашенных кристаллах CaF₂-Na. При температурах T<100 K в окрашенных кристаллах существуют четыре типа комплементарных пар центров окраски: (F_A-V_K), (F_A-V_{Ka}(1)), (F_A(1)-V_K), (F_A(1)-V_{Ka})-пары, а при T>200 K – лишь один тип центров окраски: (M_A⁺-V_{Ka})-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 CaF₂-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_A-V_K), (F_A-V_{Ka}(1)), (F_A(1)-V_K), (F_A(1)-V_{Ka})-couples, and at T>200 K the is only one type of color centers such as (M_A⁺-V_{Ka})-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. Побережний¹, А.В. Яворський²

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/м² за максимального нормативного значення 10 А/м².

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.

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

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