

# ТРАНСПОРТ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 620.197.5

## ВПЛИВ РІВНЯ КАТОДНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ НА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ НОВОГО ТА ЗІСТАРЕНОГО СТРІЧКОВОГО ПОКРИТТІВ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, А.О. Робаков, С.Л. Мельничук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України;  
03150, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11,  
e-mail: svetlanaosadchuk@meta.ua, lnyrkova@gmail.com

*Досліджено вплив рівня катодної поляризації за кімнатної температури та циклічної зміни температур (від кімнатної до 50 °С) на захисні властивості нового та зістареного захисного стрічкового покриття для магістральних трубопроводів. Показано, що катодне відшарування покриття, залежить від його властивостей, температури, значень наведеного потенціалу. Встановлено, що зниження (за абсолютним значенням) захисного потенціалу з омичною складовою від -1,45 В до -0,80 В уповільнює відшарування покриття з різним ступенем старіння: за кімнатної температури – у 6 разів (нового і зістареного), за циклічної зміни температур – у 9 разів (нового) і у 26 разів (зістареного).*

Ключові слова: катодна поляризація, катодне відшарування, захисний потенціал, захисне покриття.

*Исследовано влияние уровня катодной поляризации при комнатной температуре и циклическом изменении температур (от комнатной до 50 °С) на защитные свойства нового и состаренного защитного ленточного покрытий. Показано, что катодное отслаивание покрытия зависит от его свойств, температуры, значений приложенного потенциала. Установлено, что уменьшение (по абсолютному значению) защитного потенциала с омической составляющей от -1,45 В до -0,80 В замедляет отслаивание покрытия с разной степенью старения: при комнатной температуре – в 6 раз (нового и состаренного), при циклическом изменении температуры – в 9 раз (нового) и в 26 раз (состаренного).*

Ключевые слова: катодная поляризация, катодное отслаивание, защитный потенциал, защитное покрытие.

*The impact of the level of cathodic polarization at room temperature and cyclic change of temperature (from room temperature to 50 °C) on protective properties of new and artificially aged tape protective coatings for main pipelines was studied. It was shown that cathodic stripping of the coating depends on its properties, temperature and values of the applied potential. It was determined that reduction (by absolute value) of protective potential with IR drop from -1.45 V to -0.80 V inhibits the coating stripping with the different degree of aging: at room temperature - by 6 times (both for new and artificially aged coating), at cyclic change of temperature - by 9 times (for new coating) and by 26 times (for artificially aged coating).*

Keywords: cathodic polarization, cathodic removing, protective potential, protective coating

### Вступ

Трубопровідний транспорт є надійним, відносно дешевим і безшумним засобом переміщення, здатним транспортувати на великі відстані безліч енергоносіїв [1]. Надійність трубопроводів істотно залежить від стану протикорозійного захисту і, зокрема, від стану ізоляційного покриття. Відомо, що матеріал ізоляції під впливом специфічних умов перебування в ґрунтовому середовищі старіє і змінює в часі свої захисні властивості [2]. Переміщення під-

земного трубопроводу відносно оточуючого його ґрунту, а також тиск з боку ґрунту є однією з причин відшарування покриття. Тривала дія катодної поляризації також може призводити до відшарування покриття [3], що викликає перебіг таких видів корозійного руйнування, як підплівкова корозія і корозійне розтріскування від напруження (КРН) [4]. З досвіду експлуатації МГ відомо, що їх стрес-корозійне руйнування відбувається, в основному, на трубопроводах зі стрічковим та бітумним захисними по-

криттями. Фізико-механічні та захисні властивості полімерних стрічкових покриттів під час дії катодної поляризації можуть погіршуватися. Крім того, за наявності дефекту вони схильні до електрохімічної деструкції [5].

### Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Однією з найбільш гострих проблем експлуатації магістральних газопроводів (МГ) є стрес-корозійне руйнування [6], яке відбувається з боку зовнішньої поверхні труби в умовах застосування захисних покриттів та катодного захисту. Під дією катодного захисту ґрунтова вода розкладається з виділенням водню, який, відновлюючись до атомарного, може дифундувати в метал, сприяти його окрихченню і полегшувати розтріскування, яке підсилюється за механічних напружень. Частина водню, що рекомбінувалася до молекулярного, залишається під плівкою та сприяє відшаруванню покриття. Одним із заходів попередження розвитку стрес-корозійного руйнування є запобігання доступу ґрунтової води до поверхні труби, для чого треба забезпечити високу адгезію покриття протягом часу експлуатації, наприклад, підбором або розробленням відповідних ізоляційних матеріалів та попередженням утворення дефектів ізоляції, наприклад, завдяки удосконаленню методики нанесення покриття та контролю його стану [6].

Відомо, що оптимальні умови електрохімічного захисту від корозії досягаються при підтримуванні поляризаційного потенціалу на трубопроводі відносно мідносльфатного електроду порівняння в діапазоні від  $-0,85$  В до  $-1,15$  В [7, 8]. При відхилі потенціалу від оптимальних значень активізуються корозійні процеси: при зменшенні потенціалу за абсолютним значенням розвивається локальна (місцева, виразкова) корозія, зі збільшенням – КРН. Тому при проектуванні та експлуатації системи електрохімічного захисту трубопроводів завжди прагнуть знайти компромісне рішення: з одного боку, збільшити протяжність ділянки, що захищається, економлячи капіталовкладення при установленні мінімально необхідного числа установок катодного захисту (УКЗ), з іншого, – забезпечити підтримування нормованих значень захисного потенціалу з метою мінімізації відшарування ізоляції [9].

При поєднанні активного катодного захисту МГ із пасивним хімічні і фізичні процеси, що протікають на трифазній границі розподілу «метал-полімер-електроліт», можуть впливати на швидкість катодного відшарування ізоляційних полімерних покриття [10], тому роботи, спрямовані на дослідження впливу катодної поляризації на стан захисних покриттів, не втрачають своєї актуальності.

Дослідженням впливу катодної поляризації на стан захисного покриття (на прикладі бітумного) та корозійний стан трубопроводу присвячено роботи І.М. Францевича та його співробітників. В роботі [11] представлені результати досліджень, в яких зазначено, що незалежно від

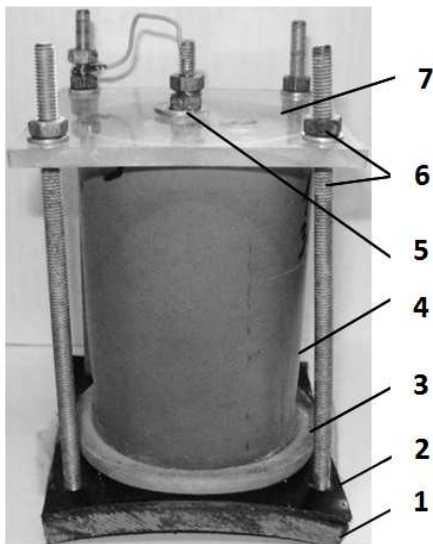
корозійної активності ґрунтів при безперервному режимі захисту (захисний потенціал, імовірно з омичною складовою, становив від  $-1,0$  В до  $-1,3$  В відносно мідносльфатного електроду порівняння) бітумне ізоляційне покриття протягом 18 років експлуатації зберегло еластичність та адгезію, а поверхня труби під ним – металевий блиск. Ефективність захисту становила близько 90 %. На ділянках, де були відключення станції катодного захисту, форсувався режим роботи суміжних станцій, внаслідок чого в точці дренажу потенціал суттєво перевищував  $-1,5$  В. Встановлено, що з підвищенням струму катодного захисту внаслідок дії блукаючих струмів ізоляція відшарувалася, а на поверхні труб спостерігалися сліди вологи, продукти корозії, а іноді й катодні відкладення. На «гарячих» ділянках в місцях виходу перегрітого газу з компресорних станцій, з яких була знята система охолодження, спостерігалось повне відшарування ізоляції, її окрихчення та втрата еластичності. В окремих місцях на поверхні труби виявлено осередки корозії у вигляді каверн. За потенціалів від  $-1,0$  В до  $-1,3$  В найменшою мірою помітний вплив поляризації на стан ізоляційного покриття [11]. Підкреслено, що у міру погіршення стану ізоляції верхню границю потенціалу доцільно знижувати до  $-1,20$  В та одночасно вводити в дію додаткові засоби електрохімічного захисту (протектор, катодна станція) [11, 12].

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету роботи, яка полягає у дослідженні і порівнянні стійкості до впливу катодної поляризації нового і зістареного стрічкового захисного покриття за різних захисних потенціалів та температур.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження впливу рівня катодної поляризації на відшарування захисного полімерного покриття, нанесеного на поверхню трубної сталі типу Х70, проводили за потенціалів катодного захисту, застосовуючи метод контролю катодного відшарування на основі стандартної методики ДСТУ 4219 (додаток Д) [7]. Катодне відшарування проводили у притискній комірці, фотографію якої зображено на рис. 1 за наведеного потенціалу (з омичною складовою)  $-1,45$  В і  $-0,8$  В відносно хлорсрібного електроду порівняння. Полімерне покриття на основі поліетиленової стрічки (далі – стрічковий) товщиною 1,8 мм конструкції: ґрунтівка – 1 шар, полімерна стрічка – 2 шари, полімерна обгортка – 1 шар наносили на зразки трубної сталі типу Х70 розміром (100×100) мм з поверхнею після піскострумного оброблення.

У покритті виконували штучний дефект діаметром 6 мм. Досліджували стрічкове покриття у вихідному стані та після старіння, яке виконували витриманням його за температури  $50$  °С впродовж 1000 год. Розчин 3 % NaCl мав електропровідність  $0,110$  См/см, водневий показник рН – 6,6. Вихідний об'єм розчину в комірці становив 250 мл.



1 – металева пластина; 2 – захисне стрічкове покриття; 3 – ущільнююча прокладка; 4 – комірка, заповнена робочим розчином 3% NaCl; 5 – анод; 6 – кришка з полімерного матеріалу; 7 – з'єднувальні деталі

**Рисунок 1 – Комірка для досліджень катодного відшарування захисного покриття**

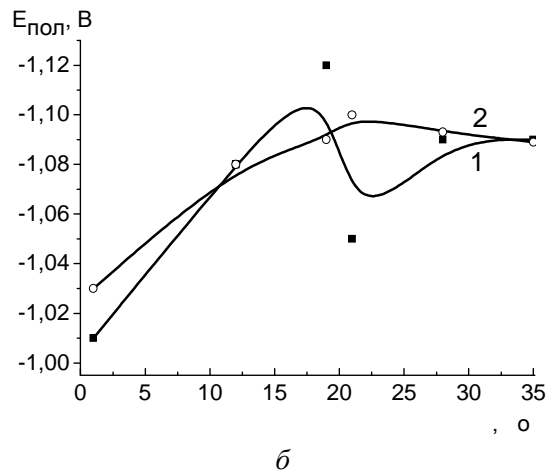
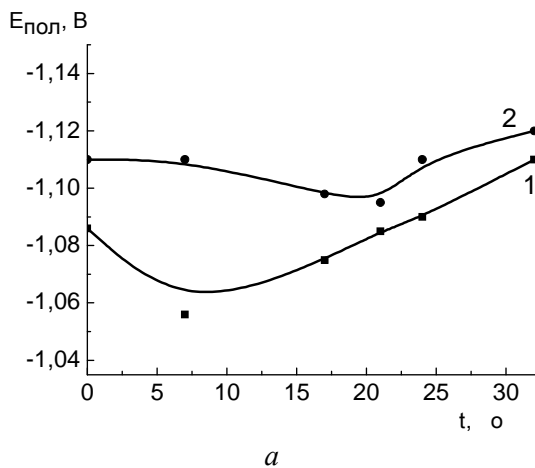
Дослідження проводили впродовж 1 місяця:  
 – за кімнатної температури;  
 – за циклічної зміни температур, а саме: за кімнатної – впродовж 4,5 діб на тиждень і за 50 °С – 2,5 доби на тиждень.

Вплив катодної поляризації оцінювали за радіусом відшарування покриття, який визначали на оголеній до металу поверхні (адгезійне відшарування). Звертали увагу на наявність змочування розчином сталеві поверхні за катодної поляризації, про що свідчило кільце темно-сірого кольору навколо дефекту, яке утворилося під час катодного відшарування. Когезійне відшарування покриття до уваги не брали.

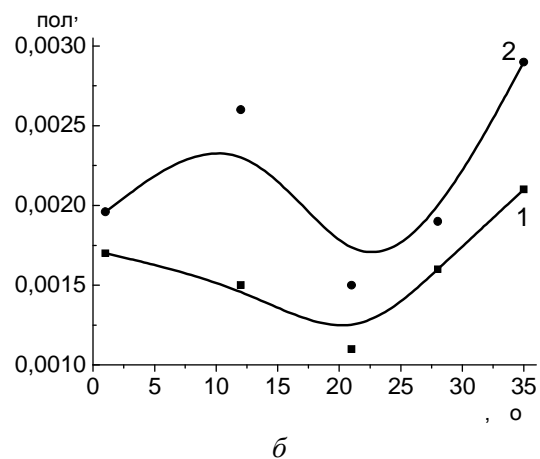
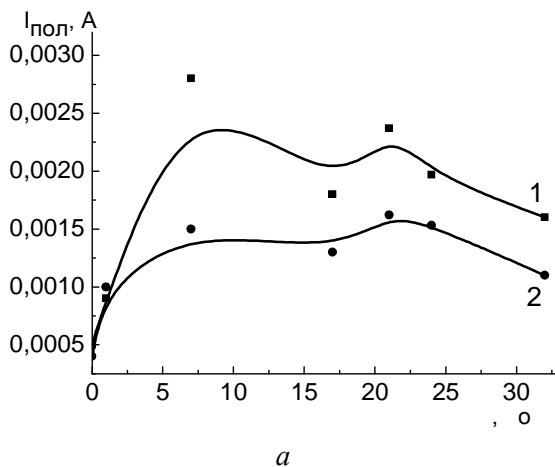
Під час дослідження за наведеного потенціалу -1,45 В вимірювали поляризаційний потенціал та поляризаційний струм. За потенціалу -0,80 В значення поляризаційного потенціалу наближуються до потенціалу з омічною складовою, тому контролювали тільки потенціал з омічною складовою.

**Результати досліджень та їх обговорення**

На рис. 2, 3 наведено зміну поляризаційного потенціалу та струму впродовж 1 місяця за кімнатної температури та циклічної зміни тем-



**Рисунок 2 – Зміна поляризаційного потенціалу впродовж 1 місяця за кімнатної температури (а) та циклічної зміни температур (б) в комірниці з новим (1) та зістареним (2) покриттям**

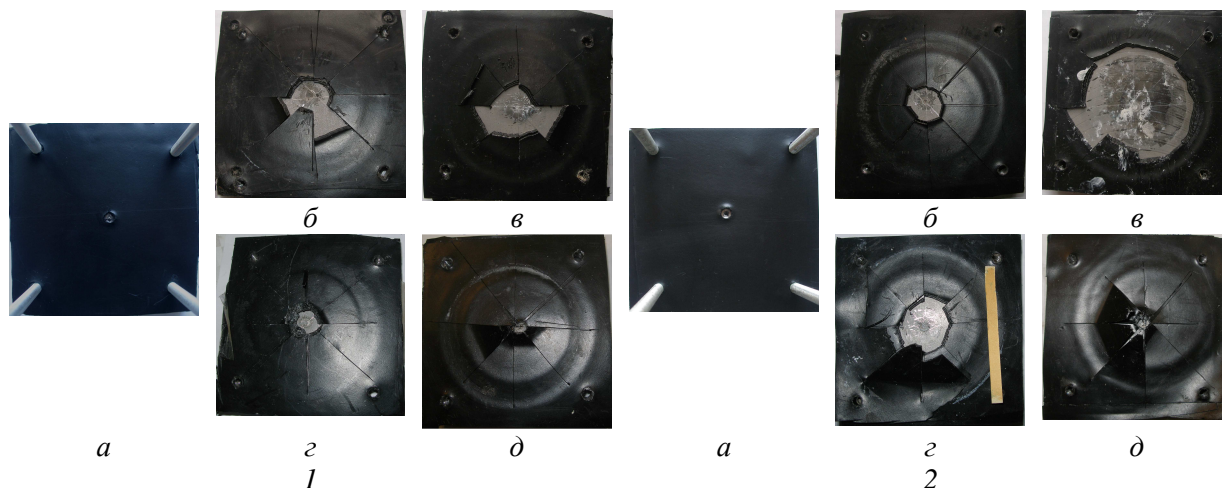


**Рисунок 3 – Зміна поляризаційного струму впродовж 1 місяця за кімнатної температури (а) та циклічної зміни температур (б) в комірниці з новим (1) та зістареним (2) покриттям**

Таблиця 1 – Поляризаційні характеристики нового та зістареного стрічкового покриттів за потенціалу з омичною складовою -1,45 В через 1 місяць експонування

Характеристика покриття	Температура випробувань	Поляризаційна складова захисного потенціалу, В	Поляризаційний струм, А	Поляризаційний опір, Ом
Новий	кімнатна	-0,52	0,0028	267
Зістарений		-0,47	0,0016	294
Новий	циклічна	-0,43	0,0021	205
Зістарений		-0,42	0,0029	145

Примітка. Потенціал корозії сталі Х70 становить -0,683 В



*а – покриття до випробувань, б – за потенціалу -1,45 В за кімнатної температури, в – за потенціалу -1,45 В і циклічної зміни температур, г – за потенціалу -0,8 В за кімнатної температури, д – за потенціалу -0,8 В і циклічної зміни температур*

**Рисунок 4 – Вплив потенціалу поляризації -1,45 В відносно х.с.е. та -0,80 В за кімнатної температури та циклічної зміни температур впродовж 1 місяця на відшарування нового (1) і зістареного (2) захисного стрічкового покриттів**

ператур в комірці з новим та зістареним покриттям за потенціалу -1,45 В.

Як видно з даних (рис. 2, 3), поляризаційні потенціали та струми змінювалися немономонно, як за кімнатної температури, так і за циклічної зміни температур, що пояснити на підставі наявних експериментальних даних неможливо.

Після закінчення експонування поляризаційні характеристики були такими, як наведено в табл. 1.

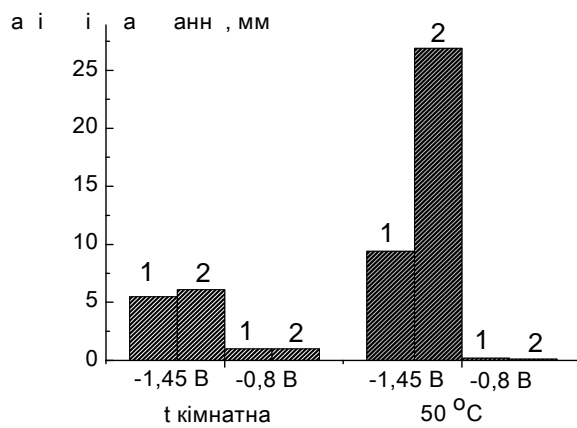
На рис. 4 наведено фото зразків покриття після впливу катодної поляризації за потенціалів -1,45 В та -0,80 В. Як видно з рис. 4, відшарування стрічкового покриття за потенціалу -1,45 В за різних температур проходило адгезійно, розшарування між шарами не виявлено. За потенціалу -0,80 В за кімнатної температури відмічено розшарування стрічкового покриття, що пояснити без додаткових досліджень впливу електрохімічних потенціалів на окислювально-відновлювальну деструкцію його складових за наявними даними неможливо. Навколо штучного дефекту на поверхні сталі внаслідок відшарування покриття утворилася плівка темно-сірого кольору, розташована по кільцю навколо дефекту (рис.4, 1б, 2б). Це, імовірно,

обумовлено змочуванням випробувальним розчином, рН якого змістився в лужну область під час катодної поляризації і внаслідок виходу продуктів деструкції з клейового шару стрічки в розчин. За потенціалу -0,80 В кільце плівки сірого кольору тонке (рис. 4, 1г) або відсутнє (рис. 4, 2г), що свідчить про те, що деструкція клейового шару тільки почалася. Кільця цих оксидних плівок навколо штучного дефекту, за підвищеної температури візуально більше, ніж за кімнатної, рис. 4, (1-2),в.

На рис. 5 наведено порівняльну діаграму радіусів відшарування нового і зістареного покриттів за різних захисних потенціалів і температур. Як видно з аналізу даних діаграми рис. 5, радіус відшарування стрічкового покриття від металевої поверхні за кімнатної температури становив:

– 5,5 мм – для нового і 6,1 мм – для зістареного покриття за потенціалу поляризації -1,45 В, що не перевищує допустимої межі похибки вимірювань та не перевищує нормовані ДСТУ 4219 значення для покриттів класу Б (посилени) – 13 мм;

– 1 мм в обох випадках за потенціалу -0,80 В.



**Рисунок 5 – Радіус відшарування нового (1) та зістареного (2) стрічкового покриттів за кімнатної температури та циклічної зміни температур за потенціалів катодної поляризації -1,45 В та -0,80 В**

За циклічної зміни температур при потенціалі -1,45 В радіус відшарування збільшився (рис. 5) до значення 9,4 мм для нового, що не перевищувало нормовані ДСТУ 4219 значення для покриття класу Б – 11 мм. Для зістареного покриття радіус відшарування становив близько 26,9 мм, що перевищувало нормовані ДСТУ 4219 значення для вищезазначених покриттів, яке мало бути не більше 23 мм. Зменшення потенціалу поляризації до -0,8 В за цих умов дало змогу зменшити радіус відшарування практично до нуля.

Проаналізувавши експериментальні дані, можна відмітити, що навіть за більшого поляризаційного опору за кімнатної температури радіуси відшарування нового та зістареного покриттів були практично однаковими; за циклічної зміни температур спостерігали зменшення поляризаційного опору, і, як наслідок, збільшення радіусу відшарування (рис. 4 (1, в та 2, в) і 5).

Літературні дані свідчать, що захисні властивості деяких стрічкових покриттів за кімнатної температури відповідають вимогам НД, але погіршуються за підвищених температур, в той час як для інших з підвищенням температур захисні властивості покращуються. Це імовірно, пов'язано зі складом матеріалу і структурою покриву. Тому під час досліджень з метою розроблення або вибору захисного покриття обов'язково треба враховувати температуру експлуатації трубопроводу та режим катодного захисту. Підвищення температури лише з метою процесу прискорення випробування може призвести до неправильних висновків [13].

Таким чином, зменшення (за абсолютним значенням) захисного потенціалу сприяє зберіганню стрічковим покривом захисних властивостей. Цей захист стає ефективнішим зі збільшенням терміну його експлуатації.

## Висновки

1 Катодне відшарування стрічкового захисного покриття залежить від властивостей самого покриття, температури, значень наведеного потенціалу.

2 За підвищеної температури катодна поляризація за потенціалу -1,45 В (х.с.е.) прискорює відшарування стрічкового покриття з різним ступенем старіння та майже не впливає за потенціалу -0,80 В (х.с.е.).

3 Зниження захисного потенціалу з омичною складовою від -1,45 В до -0,80 В сприяє зменшенню радіусу відшарування нового та зістареного стрічкових покриттів: за кімнатної температури у 6 разів, за циклічної зміни температур (від кімнатної до 50 °C) в 9 разів для нового і в 26 разів для зістареного покриття.

## Література

1 А.Н. Улихин. Оценка защищенности магистральных газопроводов от коррозии в высокоомных грунтах // Коррозия. Территории нефтегаз. – 2010. – № (15). – С.4-6. – Режим доступа до журн.: <http://neftegas.info/upload/iblock/163/163af25b5f5420154ec9b7d23a0c62b8.pdf>

2 Агинея Р.В. Прогнозирование состояния изоляционного покрытия подземных газопроводов / Агинея Р.В., Фуркин А.В. // Коррозия. Территории нефтегаз. – 2010. – № (15). – С.4-6.

3 Дослідження впливу катодної поляризації у 3%-ному розчині NaCl на деструкцію полімерного стрічкового покриву у стендових умовах. / С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, А.О. Рибаків, В.В. Лукович // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении. Вып. 16: Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Серия «Моделирование в материаловедении». – Киев, 2014. – С 13-19.

4 Агинея Р.В. Исследование эффективности электрохимической защиты газопроводов в отслаиваниях изоляционного покрытия / Агинея Р.В., Бурдинский Э.В. // Естественные и технические науки. – 2008. – № 5. – С. 161–165.

5 Визначення умов, що викликають електрохімічну деструкцію захисних покриттів та корозійне руйнування магістральних трубопроводів: звіт про НДР (заключний) / Інститут електроварювання ім. Є. О. Патона; керівник Рибаків А.О. – № держ. реєстрації 0111U000736. – К.: – 2011. – 170 с.

6 Экспериментальные исследования механических свойств стальных образцов, подверженных воздействию изоляционных материалов на основе нефтеполимера. / Гумеров К.М., Ямалеев К.М., Агапчев В.И., Черкасов Н.М., Гладких И.Ф. // Нефтегазовое дело. – 2005. – С.1-10. – Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>

7 ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ: Держспоживстандарт України. – 2003. – С. 68. (Національний стандарт України).

8 ГОСТ Р 5164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. – Москва: Госстандарт России. ИПК Издательство стандартов, 1999. – С. 45.

9 Северинова Л.Н. Применение распределенных анодов для повышения эффективности электрохимической защиты длительно эксплуатируемых газопроводов // Коррозия. Территории нефтегаз. – 2010. – № (15). – С.46-48.

10 Шаповал Г. С. Влияние различных факторов на устойчивость к катодному отслаиванию защитных полимерных покрытий / Шаповал Г. С., Фатеев Ю. Ф., Микулина О. Э. // Борьба с коррозией в нефтеперераб. и нефтехим. пром-сти: Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф., Кириши, 15–17 июня 1988 г. – М., 1988. – С. 106–107.

11 Францевич И. Н. Опыт защиты газопровода Дашава-Киев от почвенной коррозии и блуждающих токов / Францевич И. Н., Ляшенко М. Е., Гримайловский В. А. // Защита металлов. – 1968. – № 5. – С. 597-603.

12 Францевич И. Н. О влиянии катодной поляризации стальных газопроводов в условиях электрозащиты на состояние изоляционного битумного покрытия / И. Н. Францевич, Н. А. Пилипенко, М. Е. Ляшенко // Вопросы порошковой металлургии и прочности материалов. – 1956. – Вып. 3. – С.3-13.

13 Cherry B. W., Gould A. N. Cathodic disbondment mechanisms for a pipeline coating // Corros. Australas. – 1989. – 14, № 2 – С. 8– 12.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
22.03.17*

*Рекомендована до друку  
професором **Грудзом В.Я.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук **Луковичем В.В.**  
(Інститут проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ)*