

# Актуальні питання нафтогазової галузі

УДК 579.222; 665.75:671.58

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ НА СТІЙКІСТЬ ДО ВІДШАРУВАННЯ ПРОТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ КАТОДНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

<sup>1</sup>Є.І. Крижанівський, <sup>1</sup>Я.Т. Федорович, <sup>1</sup>М.С. Полутренко, <sup>2</sup>І.Я. Федорович, <sup>3</sup>В.І. Квич

<sup>1</sup>ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,  
e-mail: no@nimg.edu.ua

<sup>2</sup>БМУ4 Філії БМФ “Укргазпромбуд” ПАТ “Укртрансгаз”;  
76000, м. Івано-Франківськ, вул. Горбачевського, 1, тел. (0342) 584106,  
e-mail: pmk4@inbox.ru

<sup>3</sup>УМГ “Прикарпаттрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз”;  
76000, м. Івано-Франківськ, вул. Незалежності, 48, тел. (0342) 597651,  
e-mail: kvich-vi@utg.ua

Розглядається комплексний (пасивний та активний) протикорозійний захист підземних нафтогазопроводів, від якого залежить їх довговічність і безперебійна робота. Показано, що за певних умов може здійснюватися відшарування ізоляційного покриття (пасивного захисту). Проаналізовано механізм впливу катодного (активного) захисту на відшарування ізоляційних покриттів на основі бітумних мастик різних модифікацій. Проведено аналіз способів підготовки поверхні трубопроводів перед нанесенням ізоляційного покриття. Показано, що підготовка поверхні суттєво впливає на відшарування ізоляційних покриттів в умовах катодної поляризації.

Для оцінки якості сформованого ізоляційного покриття в умовах катодної поляризації визначено їх площу відшарування. З цією метою для проведення досліджень вибрано методику згідно ДСТУ 4219-2003. Наведено електричну схему і лабораторну установку, зібрану за даною схемою. Випробування проводилось на зразках із труби магістральних трубопроводів діаметром 1020 мм, поверхня яких підготовлена металевими щітками та піскоструменевою обробкою в оптимальному режимі. На підготовлені поверхні зразків вищезгаданими способами наносили три види бітумно-полімерних покриттів, використовуючи базову мастику Дашавського заводу композиційних матеріалів МБПІ-Д (Б) і модифіковані бітумно-полімерні мастики МБПІМ1-Д (Г) і МБПІМ2-Д (Ж).

Метод для обчислення площі відшарування ізоляційного покриття розроблено в лабораторії покриттів ВАТ «РосНИТИ». За основу даного методу взято отримання растрового зображення високої чіткості зразка з відшарованим покриттям і подальшу обробку зображення на персональному комп'ютері за допомогою графічного редактора. Наведено результати проведених випробувань та відповідних обчислень.

Експериментально встановлено підвищену стійкість до відшарування дослідних зразків, поверхня яких підготовлена піскоструменевою обробкою в оптимальному режимі і на які нанесені модифіковані покриття. Найменша площа відшарування виявлена на зразках із протикорозійним покриттям на базі мастики (Ж), модифікованої інгібітором із класу четвертинних амонійних солей.

Ключові слова: комплексний протикорозійний захист, ізоляційні покриття, катодна поляризація, площа відшарування.

Рассматривается комплексная (пассивная и активная) противокоррозионная защита подземных нефтегазопроводов, от которой зависит их долговечность и бесперебойная работа. Показано, что за определенных условий может осуществляться отслоение изоляционного покрытия (пассивной защиты). Проанализи-

зировано механізм впливу катодної (активної) захисти на відшарування ізоляційних покриттів на основаних бітумних мастиках різних модифікацій. Проведено аналіз способів підготовки поверхні трубопроводів перед нанесенням ізоляційного покриття. Показано, що підготовка поверхні суттєво впливає на відшарування ізоляційних покриттів в умовах катодної поляризації.

Для оцінки якості сформованого ізоляційного покриття в умовах катодної поляризації визначено його площу відшарування. Для проведення досліджень вибрана методика згідно з ГОСТ 4219-2003. Приведена електрична схема і лабораторна установка, яка зібрана за даною схемою. Испитання проводились на зразках з труби магістральних трубопроводів діаметром 1020 мм, поверхню яких підготовлено металічними щітками і пескоструйною обробкою в оптимальному режимі. На підготовлені поверхні зразків вищезазначеними способами наносили три види бітумно-полімерних покриттів, використовуючи базову мастику Дашавського заводу композиційних матеріалів МБПІ-Д (Б) і модифіковані бітумно-полімерні мастики МБПІМ1-Д (Г) і МБПІМ2-Д (Ж).

Метод для визначення площі відшарування ізоляційного покриття, розроблений в лабораторії покриттів ОАО «РосНИТИ», в основі якого лежить отримання растрового зображення високої чіткості зразка з відшарованим покриттям і подальша обробка зображення на персональному комп'ютері з допомогою графічного редактора. Приведені результати проведених випробувань.

Експериментально встановлено, підвищену стійкість до відшарування експериментальних зразків, поверхню яких підготовлено пескоструйною обробкою в оптимальному режимі. Найменша площа відшарування виявлена на зразках з протикорозійним покриттям на базі мастики (Ж), модифікованої інгібітором з класу четвертинних амонійних солей.

Ключові слова: комплексна протикорозійна захиста, ізоляційні покриття, катодна поляризація, площа відшарування.

*The corrosion protection complex (passive and active) of underground pipelines, which determines their durability and smooth operation is considered. It is shown that the isolative coating (passive protection) may be detached under certain conditions. The mechanism of cathodic (active) protection affect the detachment of insulating coatings based on bitumen mastics different versions is analyzed. The analysis of the surface preparation before applying the pipe coating methods is made. The fact that surface preparation influences the insulating coating delamination under cathodic polarization is shown.*

*To assess the quality of the formed insulation coating in the conditions of cathodic polarization we choose the area of its delamination. With this aim the research methodology is chosen according ISO 4219-2003. The electrical circuit and the laboratory setup collected under this scheme is presented. The tests are carried out with the samples of pipelines with diameter 1020 mm, and their surfaces were optimally prepared by wire brushing and sand blasting. The prepared samples were covered by three types of bitumen-polymer coatings: MBPI-D (B) and polymer modified bitumen mastic MBPIM1-D (G) and MBPIM2-D (F) made by the Dashava plant of composite materials.*

*The method of calculating of the coating delamination area, which is used, was developed in the coating laboratory of JSC "RosNYTY", and it is based on a bitmap HD peeled off the surface of the sample and subsequent image processing on a personal computer with a graphical editor. The results of the tests and related calculations are given.*

*The increased resistance to test samples delamination whose surfaces were optimally prepared by sand blasting and covered by modified coatings is experimentally proved. The smallest area of delamination was found on the samples covered with anticorrosive coating based on the mastic (F), modified with inhibitor of quaternary ammonium salts class.*

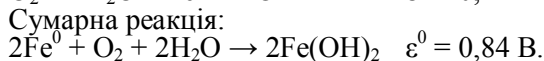
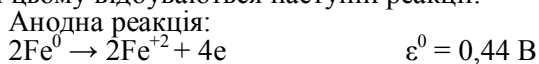
Key words: complex anticorrosive protection, isolative coating, cathodic polarization, area of delamination

Україна має потужну мережу підземних трубопроводів для транспортування природного газу, нафти та нафтопродуктів. Більшість трубопроводів в Україні експлуатується вже досить тривалий час і значна частина з них відпрацювала свій амортизаційний термін. Середній термін служби нафтогазопровідних систем та промислових трубопроводів перевищив 20 - 30 років [1]. Довговічність і безперебійна робота підземних нафтогазопроводів безпосередньо залежить від ефективності їх протикорозійного захисту. Для забезпечення надійності нафтогазопроводів при тривалій їх експлуатації використовують комплексний протикорозійний захист, який поєднує пасивний захист з використанням ізоляційних покриттів й активний - засобами електрохімічного захисту. При достатньо хороших ізолюючих властивостях окремих протикорозійних покриттів, але через неможливість на практиці забезпечити абсолютну суцільність покриття в ньому, завжди залишаються мікродіфекти, що стають джерелом корозійних руйнувань з самого початку експлуатації трубопроводу. Тому навіть при використанні комплексного захисту не забезпечується

необхідна якість захисту трубопроводів від корозії. За певних умов може відбуватися вплив систем електрохімічного захисту на стан захисного ізоляційного покриття, що може призвести його відшарування.

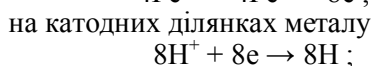
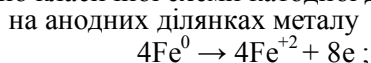
Відомо, що ізоляційне покриття, як пасивний захист від корозії, зменшує густину катодного струму на декілька порядків. Так, для катодного захисту сталі в ґрунті з якісним покриттям потрібно всього 0,01 - 0,2 мА/м<sup>2</sup>. Внаслідок деградації властивостей ізоляційного покриття під час експлуатації, при виникненні дефектів в покритті, що призводить до оголення металу, катодний струм зростає. На встановлений потенціал захисту, крім того, можуть накладатися потенціали блукаючих струмів, більш високі потенціали ґрунтів, що містять солі, кислоти, продукти життєдіяльності сульфатвідновлювальних бактерій та інш. Накладання зовнішнього електричного струму на метал перешкоджає відходів електродів зі сталі і заважає утворенню розчинних йонів. На практиці, згідно нормативної документації [2] мінімальний захисний потенціал складає - 0,85В за Cu/CuSO<sub>4</sub> електродом. Таке значення ґрунту-

ється на теоретичних розрахунках електрорушійної сили (ЕРС) реакції окиснення заліза в нейтральному середовищі за наявності води. При цьому відбуваються наступні реакції:

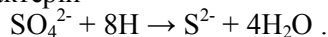


Аналіз наведених рівнянь свідчить, що для пригнічення даного електрохімічного процесу необхідно прикласти зовнішній потенціал, який дорівнює ЕРС сумарної реакції, але протилежний за знаком.

В реальних умовах експлуатації нафтогазопроводів на ділянках траси, де можливий ризик розвитку мікробіологічної корозії в присутності сульфатвідновлювальних бактерій таке значення захисного потенціалу неефективне. У випадку ґрунтової корозії, внаслідок життєдіяльності сульфатвідновлювальних бактерій, окиснення заліза відбувається без участі кисню згідно класичної схеми катодної деполяризації:



катодна деполяризація сульфат відновлювальних бактерій



Сумарна ЕРС реакції катодної деполяризації становить 0,60 В. Таким чином, у випадку відновлення сульфату рекомендований потенціал катодного захисту перевищує сумарну ЕРС на  $-0,24$  В, що сприяє підвищенню корозійної активності СВБ у модельних дослідах та польових умовах [5]. З огляду на це, значну увагу потрібно приділяти якості підготовки поверхні металу трубопроводів перед нанесенням протикорозійного покриття, що є прихованим резервом у підвищенні ефективності ремонтних робіт, пов'язаних з переізоляцією.

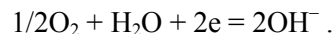
На сьогодні підготовка (очищення) поверхні трубопроводів від пасивних плівок, нерозчинних оксидів металу в трасових умовах проводиться в два етапи. Спочатку видаляють стару плівку скребками. Потім очищення поверхні трубопроводів від окалини та іржі виконують за допомогою металевих щіток, абразивного інструменту. На кінцевій стадії очищення інколи використовують піскоструменеву або гідроструменеву обробку. Піскоструменева обробка поверхні є поширеним методом очищення трубопроводів. Піскоструменеву обробку проводять з метою досягнення рівномірної матової однорідної поверхні металу, створення необхідного рівня і розподілу залишкових напружень у поверхневих шарах металу трубопроводу для компенсації втрат міцності від корозійних пошкоджень. Підготовлена поверхня піскоструменевим способом суттєво впливає на корозійну стійкість та адгезію протикорозійного покриття, а також термін його служби. Проте, на підставі аналізу технології її проведення

в окремих дочірніх підприємствах ПАТ «Укртрансгаз», здійснюється на режимах, які не забезпечують необхідної якості очищення поверхні, не викликають глибокі зміни в поверхневому шарі металу. Але в окремих випадках із-за різних причин піскоструменеву обробку поверхні трубопроводів перед нанесенням протикорозійного покриття не проводять.

Проведені нами експериментальні дослідження дробоструменевої обробки поверхні зразків на установці термоабразивного очищення КТО-1 в Долинському ЛВУМГ в режимах обробки в залежності від часу дають можливість вибрати оптимальний.

Одним із важливих технічних показників, що характеризує якість сформованого ізоляційного покриття є площа відшарування покриття під дією катодної поляризації.

Відшарування покриття від поверхні сталевих трубопроводів відбувається в результаті утворення йонів гідроксиду в катодній зоні за реакцією:



З часом покриття старіє з втратою діелектричних властивостей і в ньому утворюються дефекти, які заповнюються електролітом з різною електропровідністю в залежності від йонного складу.

Встановлено, що швидкість відшарування при накладеному потенціалі висока на початкових стадіях, з часом вона падає. При відшаруванні в результаті катодної поляризації мають місце хімічні і механічні процеси. Високі значення рН (без накладеного потенціалу) і катодна поляризація до 1500 мВ при рН = 6 сприяє хімічним змінам на тонкій поверхні розподілу між металом і покриттям, яке руйнує адгезійні зв'язки і призводить до відшарування покриттів. Механічний компонент в процесі відшарування визначається відмінністю швидкостей відшарування як функції товщини покриття і характером взаємодії покриття з ґрунтом.

За останній час питання відшарування покриттів (особливо при катодній поляризації) стало особливо актуальним. Не дивлячись на важливість вказаної проблеми, до цього часу не встановлена залежність відшарування різних покриттів від величини потенціалу. Відсутні дані про густину струму і потенціалу труба – електроліт.

На підставі літературних даних можна передбачити, що при високих густинах струму адгезія на міцність знижується, а при малих – практично залишається незмінною.

В якості протикорозійного покриття трубопроводів використовується бітумна ізоляція, частка якої становить 50 % в структурі ізоляційних покриттів у газовому секторі економіки [3,4] (див. рис. 1).

Тому доцільно було простежити як впливає якість підготовки поверхні трубопроводів на відшарування таких покриттів в умовах катодної поляризації.

Метою даної роботи було визначення стійкості базового бітумно-полімерного покриття та бітумно-полімерних покриттів модифікова-

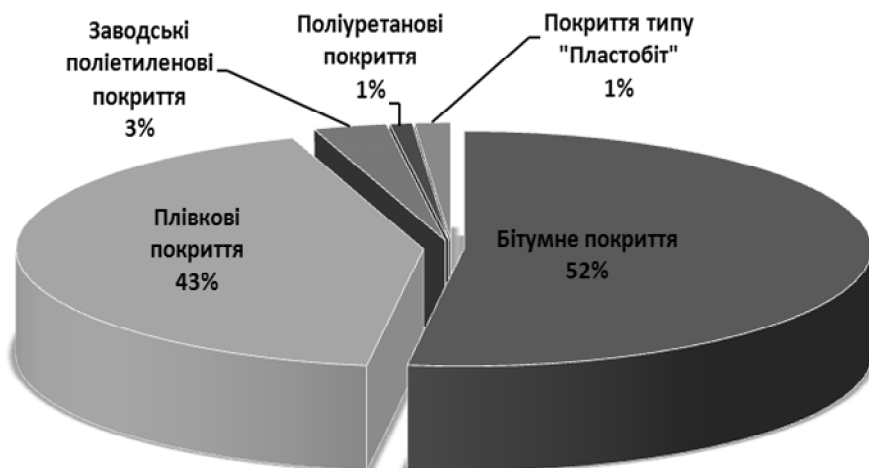
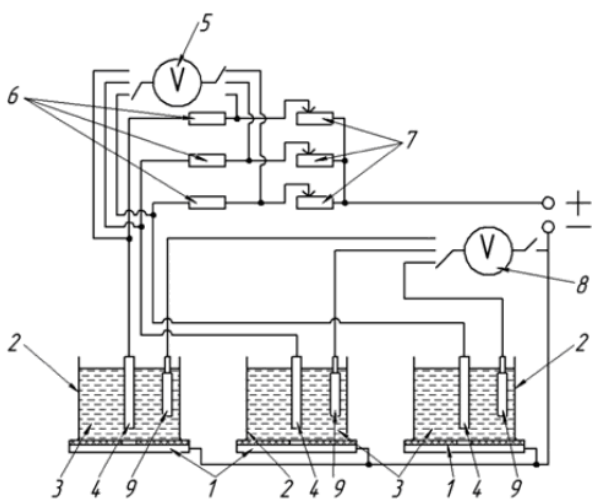
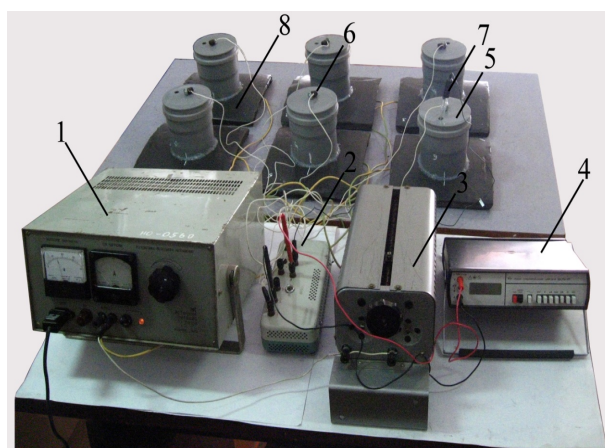


Рисунок 1 – Частка ізоляційних покриттів різних типів, що використовуються в ПАТ «Укртрансгаз»



1 – випробувальний зразок; 2 – труба із поліетилену (камера); 3 – електроліт; 4 – анод; 5, 8 – вольтметр; 6 – еталонний опір; 7 – реостат; 9 – електрод порівняння

Рисунок 2 – Електрична схема для випробування трьох зразків



1 – джерело живлення постійного струму; 2 – магазин еталонних опорів; 3 – реостат; 4 – вольтметр; 5 – труба із поліетилену (камера); 6 – інертний анод; 7 – допоміжний електрод порівняння; 8 – досліджувані зразок

Рисунок 3 – Лабораторна установка для дослідження відшарування бітумної ізоляції

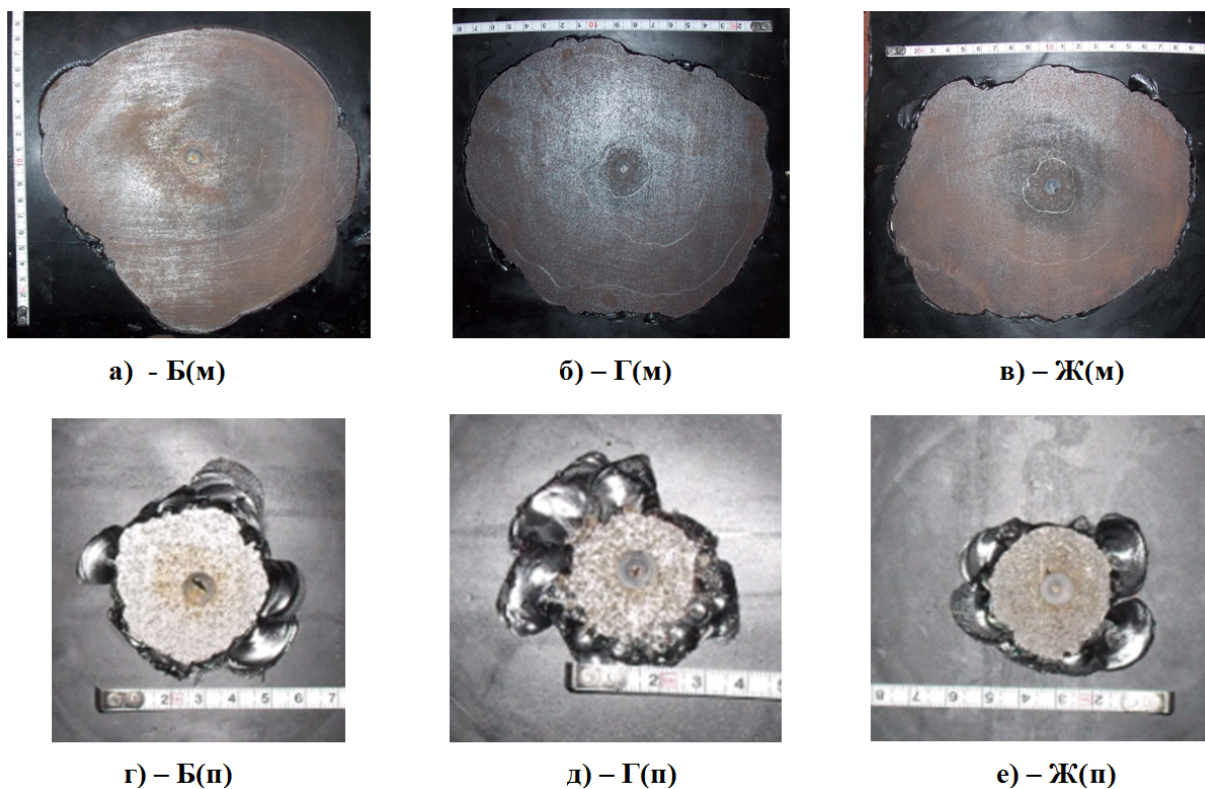
них нітрогеновмістими інгібіторами корозії, нанесених на підготовлену поверхню зразків в умовах катодної поляризації до відшарування шляхом визначення площі відшарування.

### Експериментальна частина

Для проведення досліджень щодо впливу катодної поляризації на стійкість до відшарування ізоляційних покриттів використовували методику згідно ДСТУ 4219-2003. Виходячи із вимог ДСТУ 4219-2003 за значення площі відшарування покриттів при катодній поляризації приймали середнє арифметичне значення результатів вимірювань на трьох зразках, тому збирали електричну схему з трьома випробувальними зразками з використанням інертного анода (рис. 2) [6]. Загальний вигляд лаборатор-

ної установки для дослідження відшарування представлено на рисунку 3.

Для випробувань було підготовлено серію із 18-и зразків розміром 200×200 мм, вирізаних із труби магістральних трубопроводів діаметром 1020 мм. З метою вивчення впливу якості підготовленої поверхні на відшарування бітумно-полімерного покриття поверхні, частину зразків обробляли металевими щітками, а поверхню другої частини зразків обробляли піско-струменевим способом в оптимальному режимі [7]. Після цього на підготовлені поверхні зразків вищезгаданими способами наносили три види бітумно-полімерних покриттів, використовуючи базову мастику Дашавського заводу композиційних матеріалів МБПІ-Д (Б) і модифіковані бітумно-полімерні мастики МБПІМ1-Д (Г) і МБПІМ2-Д (Ж) [8].



(м) – підготовка зразків до випробування металевими щітками;  
 (п) – підготовка зразків до випробування піскоструменевою обробкою

**Рисунок 4 – Відшарування бітумних мастик різних типів Б, Г, Ж залежно від способу підготовки поверхні зразка при катодній поляризації**

Для проведення досліджень, в центрі кожного зразка просвердлювали отвір діаметром 9 мм для утворення в металі конічного заглиблення. Метал при цьому не повинен бути перфорований. Поверхню металу в отворі обезжирювали. Підготовлені таким чином зразки встановлювали на ізоляційну плиту. На кожному зразку з покриттям 8 (рис. 3) за допомогою високоякісного герметика встановлювали поліетиленову трубу (камеру) 5 таким чином, щоб вісь камери співпадала з центром конічного заглиблення. Потім в кожную камеру заливали електроліт (3-х % розчин натрій хлориду) до рівня 50 мм від поверхні покриття. В розчин поміщали інертний електрод (анод) 7, який прикріплений до кришки камери 5 на віддалі не менше 38 мм від поверхні покриття. Зразок 8 підключали до негативного полюса джерела живлення постійного струму. Кожен інертний електрод з'єднували послідовно з еталонними опорами (1 Ом) 2, реостатами 3 і позитивним полюсом джерела живлення. За допомогою вольтметра, який підключали паралельно еталонному опору, реостатом встановлювали на зразку потенціал мінус ( $1,5 \pm 0,05$ В), після чого вольтметр відключали і фіксували початок вимірювань.

Зразки витримували в розчині електроліту під дією прикладеного катодного струму протягом 40 діб при температурі плюс ( $20 \pm 2$ ) °С. Періодично через кожні 7 днів випробувань розчин електроліту замінювали свіжим. При

цьому припиняли подачу напруги на зразки, електроліт виливали, камери і зразки промивали дистильованою водою, потім заливали свіжий 3-х % розчин натрій хлориду.

Після закінчення випробувань зразки з покриттям демонтували, промивали водою і витирали. Поверхню відшарованої ділянки оголювали, обережно демонтуючи покриття скальпелем (рис. 4). Для обчислення площі відшарування ізоляційного покриття нами було використано метод, розроблений в лабораторії покриттів ВАТ «РосНИТИ», в основі якого лежить отримання растрового зображення високої чіткості зразка з відшарованим покриттям і подальша обробка зображення на персональному комп'ютері за допомогою графічного редактора.

Фотознімання зразка проводиться на фоні еталонного трафарету у вигляді сітки з розміром клітинок  $1 \times 1$  мм, а при відсутності трафарету на фоні приладів для вимірювання довжини (лінійка, рулетка і т.п.) На відзнятому зображенні будували елемент у вигляді квадрата площею  $1 \text{ см}^2$  однорідного кольору і за допомогою графічного редактора проводиться підрахунок кількості пікселів (найменших логічних елементів растрового зображення), які містяться у даному квадраті. Після цього область відшарування зразка зафарбовували однорідним кольором і підраховували кількість пікселів утвореної фігури (рис. 5).

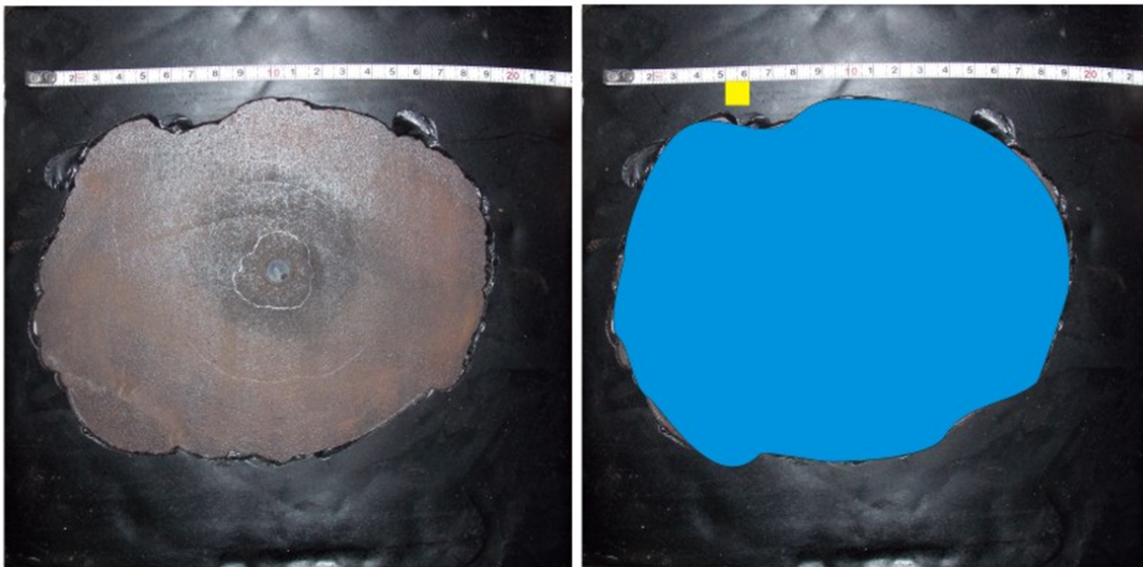


Рисунок 5 – Приклад визначення площі відшарування з використанням растрового зображення

Таблиця 1 – Величина площ відшарування покриттів

Тип мастики	Площа відшарування при механічній обробці, см <sup>2</sup>	Площа відшарування при піскоструменевій обробці, см <sup>2</sup>
Б	245,84	16,14
Г	204,31	9,55
Ж	199,62	7,12

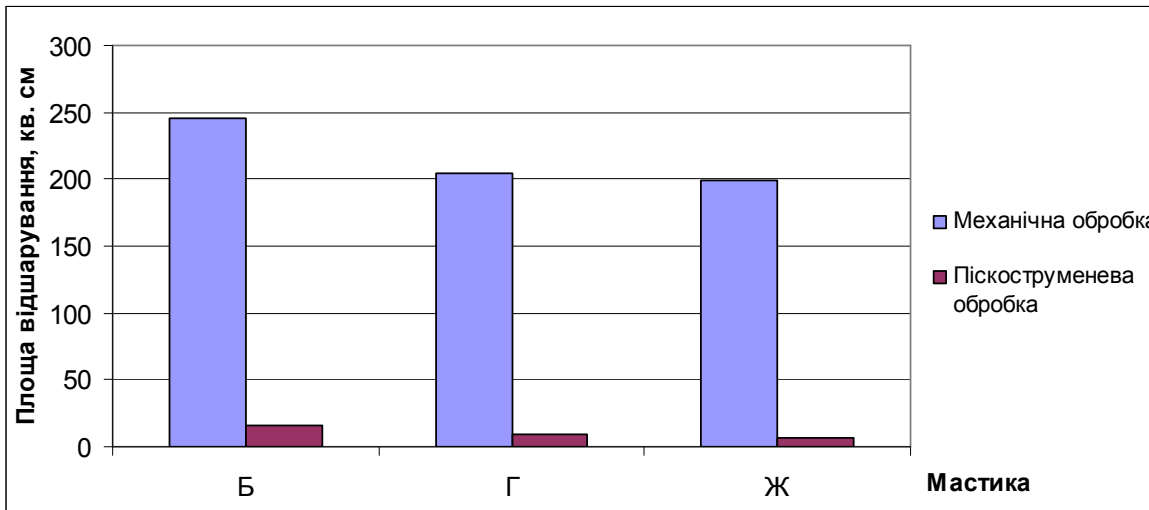


Рисунок 6 – Гістограми порівнянь площ відшарувань бітумних покриттів при катодній поляризації

Площу відшарування підраховували за формулою:

$$S_{\text{відш.}} = S / S_{\text{кв.}}$$

де  $S$  – площа зафарбованої області відшарованого покриття, пікселів;

$S_{\text{кв.}}$  – площа еталонної фігури (квадрата), пікселів/см<sup>2</sup>.

Результати обчислень занесені в таблицю 1.

Для порівняння площ відшарування побудовані гістограми, які представлені на рисунку 6.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що площа відшарування базового бітумного покриття (Б), нанесеного на поверхню зразка підготовленою піскоструменевою обробкою менша площі відшарування при обробці металевими щітками на 93 %. Площа відшарування покриття на базі модифікованої мастики (Г), нанесеного на поверхню зразка підготовленою піскоструменевою обробкою менша площі відшарування при обробці металевими щітками на

95 %. Площа відшарування покриття на базі модифікованої мастики (Ж), нанесеного на поверхню зразка підготовленою піскоструменевою обробкою менша площі відшарування при обробці металевими щітками на 96 %.

За результатами проведених випробувань можна зробити висновок, що на відшарування протикорозійних покриттів на бітумно-полімерній основі суттєво впливає якість підготовки поверхні трубопроводів в умовах катодної поляризації.

### Висновки

1. Показано, що одним із важливих технічних показників, які характеризують якість сформованого ізоляційного покриття є площа відшарування покриття в умовах катодної поляризації.

2. Проведено дослідження впливу катодної поляризації на відшарування ізоляційних покриттів на бітумній основі.

3. Експериментально встановлено, що найменша площа відшарування виявлена на зразках з покриттям на базі модифікованої мастики (Ж), поверхня яких підготовлена піскоструменевою обробкою.

### Література

1 Крупка В.О. Сучасна техніка і технології ремонту лінійної частини магістральних трубопроводів / В.О. Крупка, Є.Б. Іваник, О.М. Марчук, С.Ю. Федотова // Нафтогазова енергетика. – 2011. – № 3(16). – С. 12-29.

2 ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ: Держстандарт України, 2003. – 69 с.

3 Довідник-каталог «Сучасні протикорозійні матеріали для захисту об'єктів нафтогазового комплексу України» / В.М. Василюк, В.А. Черватюк, В.П. Васьківський, Ю.Г. Федоренко, С.В. Ткач. – Л.: СПОЛОМ, 2008. – 170 с.

4 Крижанівський Є.І. Ефективність використання сучасних покриттів для захисту підземних нафтогазопроводів від корозії / Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, Я.Т. Федорович, І.В. Федорович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №3(44). – С.7-14.

5 Крижанівський Є.І. Відновлення протикорозійного захисту підземних газонафтопроводів в сильномінералізованих ґрунтах / Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, Я.Т. Федорович та ін. // Нафтогазова енергетика. – 2011. – №1 (41). – С.34-38.

6 Андреюк К.І. Мікробна корозія підземних споруд / К.І. Андреюк, І.П. Козлова, Ж.П. Коптева та ін. – К.: Наукова думка, 2005. – 258 с.

7 Пат. 84769 Україна, МПК (2006) F16L 58/02 Спосіб ремонту сталевих трубопроводів / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Рудко В.В., Федорович І.Я., заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200613389; опубл. 25.11.2008, Бюл. №22.

8 Пат. 89709 Україна, МПК (2009) C23F 11/00, F16L 58/02 Спосіб протикорозійного захисту підземних нафтогазопроводів, прокладених в болотних, замулених ґрунтах, які містять сульфатредуючі бактерії / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Гужов Ю.П., Федорович І.В.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200807330; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*  
03.04.14

*Рекомендована до друку*  
професором **Грудзом В.Я.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук **Банахевичем Ю.В.**  
(відділ експлуатації МГ і ГРС  
ПАТ «Укртрансгаз», м. Київ)