

## СТЕНДОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ЛІНІЙНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ (LPR)

<sup>1</sup>Р.М.Вишневський, <sup>1</sup>В.В.Григориш, <sup>1</sup>Л.Б.Хом'як, <sup>2</sup>М.М.Дранчук, <sup>1</sup>Б.Л.Литвин

<sup>1</sup> Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ "Укрнафта",  
76019, м. Івано-Франківськ, Північний бульвар імені Пушкіна, 3  
e-mail: vyshnevsky@ndpi.ukrnafta.com

<sup>2</sup> ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)  
e-mail: public@nung.edu.ua

*Описано результати впровадження стендових досліджень інгібіторів корозії за методом лінійної поляризації (LPR) у лабораторних та промислових умовах ВАТ "Укрнафта".*

Ключові слова: нафтопромисел, обладнання, інгібітор, лінійна поляризація, нафтопровід, свердловина, корозія.

*Описаны результаты внедрения стендовых исследований ингибиторов коррозии по методу линейной поляризации (LPR) в лабораторных и промышленных условиях ОАО "Укрнафта".*

Ключевые слова: нефтепромысел, оборудование, ингибитор, линейная поляризация, нефтепровод, скважина, коррозия.

*The results of the introduction of stand researches of the corrosion inhibitors according to the method of linear polarization (LPR) in the laboratory and industrial conditions of JSC "Ukrnafta" are described.*

Keywords: oil-field, equipment, inhibitor, linear polarization, pipeline, well, corrosion.

На сьогоднішній день найбільш ефективним і перспективним способом захисту обладнання нафтопромислів від внутрішньої корозії є застосування інгібіторів. Введення в агресивне середовище незначної кількості інгібітора (25 – 200) г на куб. м. транспортуючого середовища значно знижує швидкість корозійного руйнування металу.

У ВАТ "Укрнафта" використовуються три методи дослідження ефективності інгібіторного захисту, а саме:

- гравіметричний [1], що базується на визначенні втрати маси взірців-свідків зі сталі у досліджуваному середовищі;
- визначення концентрації іонів дво- та тривалентного заліза у попутній пластовій воді;
- лінійної поляризації електродів.

Останній метод базується на вимірюванні сили струму при накладанні на електроди, поміщені в корозійноактивне середовище, невеликої різниці потенціалів з подальшою інтерпретацією його в глибинний показник швидкості корозії. Електроди давачів виготовлені з тієї марки сталі, швидкість корозії якої в корозійному середовищі потрібно визначити [2].

Існує певний порядок впровадження інгібіторного захисту на об'єктах ВАТ "Укрнафта".

Попереднім етапом впровадження нового інгібітора корозії є комплекс лабораторних досліджень та висновки науково-дослідного і проектного інституту ВАТ "Укрнафта" щодо його ефективності.

Перед проведенням лабораторних досліджень з визначення ефективності нових інгібіторів корозії проводиться ознайомлення з документацією, згідно з якою виробник виробляє та постачає їх промислові партії (технічні умо-

ви, санітарно-гігієнічний висновок, сертифікат якості тощо).

Для вибору інгібітора корозії захисту нафтопроводів та нафтових свердловин необхідним є проведення таких досліджень:

ефективності інгібіторів корозії гравіметричним та електрохімічним методами (згідно з СОУ 11.1-00135390-034), яка виражається у відсотках та визначається за рівнянням

$$Z = \frac{V_{fon} - V_{ing}}{V_{fon}} \cdot 100\%,$$

де:  $V_{fon}$  – фонові швидкості корозії взірців (електродів давача), мм/рік;

$V_{ing}$  – швидкість корозії взірців (електродів давача) з інгібітором, мм/рік.

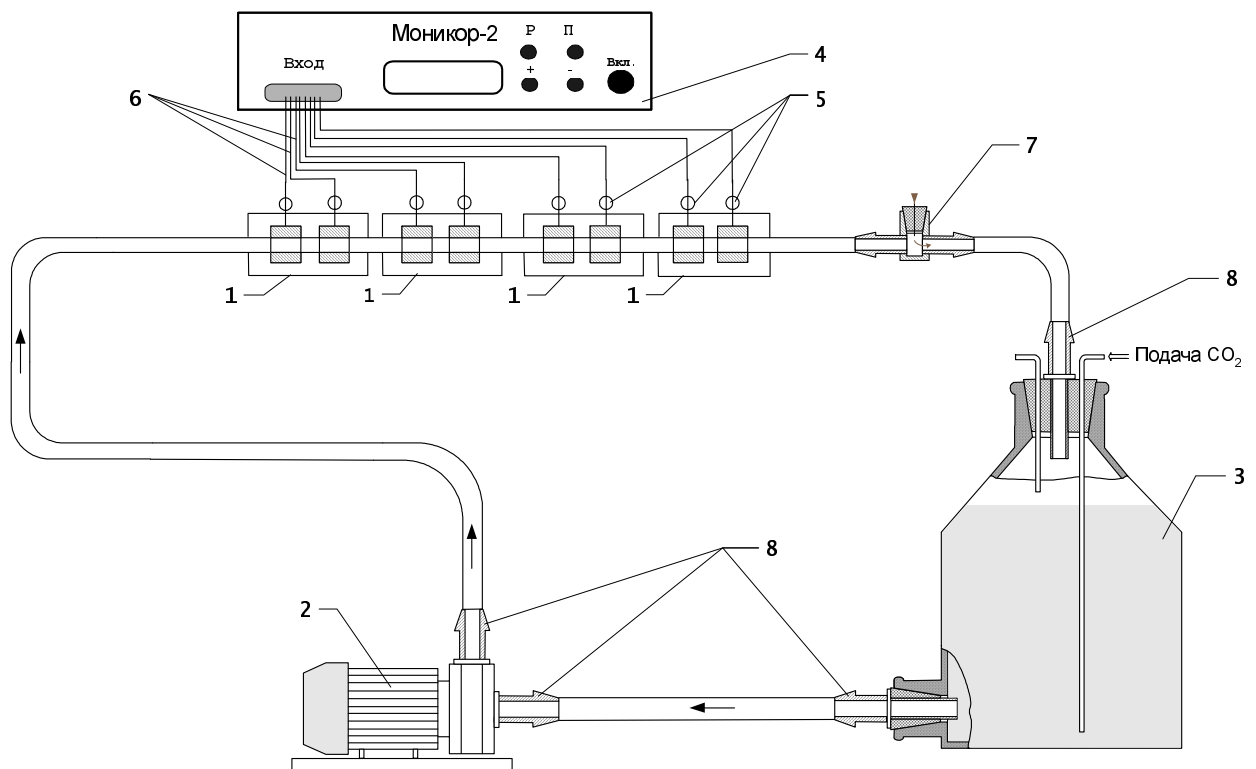
підбір оптимального дозування інгібітора для конкретних умов об'єкта захисту;

ступеня його перерозподілу з вуглеводневої у водну фазу в умовах розшарованої водонафтової суміші. Такі дослідження проводяться методом лінійної поляризації;

сумісності інгібіторів корозії з реагентами, які використовуються в процесі видобування, транспортування та підготовки продукції експлуатаційних свердловин.

Вказані дослідження та висновки щодо можливості подальшого впровадження досліджуваних інгібіторів виконує спеціалізована акредитована лабораторія протикорозійних досліджень НДПІ ВАТ "Укрнафта".

Інгібітор корозії може бути рекомендований до дослідно-промислових випробувань, якщо його ефективність в результаті лабораторних досліджень є не нижчою за 85%.



1 – робочі електрохімічні комірки з електродам; 2 – відцентровий насос в корозійностійкому виконанні; 3 – буферна ємкість з нижнім тубусом; 4 – індикатор швидкості корозії "Монікор-2"; 5 – контакти електродів; 6 – кабель під'єднання приладу до електродів; 7 – вузол вводу інгібітора корозії; 8 – під'єднувальні штуцера

**Рисунок 1 – Циркуляційна пілотна установка для проведення стендових досліджень інгібіторів корозії в лабораторних умовах**

Вплив деемульгаторів, інгібіторів солевідкладень та парафіновідкладень на ефективність інгібітора корозії встановлюється в результаті порівняльних досліджень визначення швидкості корозії в інгібованому середовищі за відсутності і після додавання вказаних реагентів.

Результати лабораторних досліджень інгібіторів корозії оформляються експертним висновком та подаються у розширеному вигляді в технічному звіті, де надаються рекомендації щодо дослідно-промислових випробувань досліджуваних інгібіторів.

Обов'язковим етапом у дослідженні нових інгібіторів корозії є проведення стендових лабораторних та стендових промислових досліджень.

Стендові лабораторні дослідження ефективності інгібіторів корозії проводяться на пілотній установці "Монікор-стенд" у циркуляційній комплектації з насосом з "мокрим ротором". Ця установка призначена для проведення корозійно-метричних досліджень в лабораторних умовах методом лінійної поляризації електродів. Для роботи з установкою використовуються корозиметри типу "Монікор-2" та інші, які мають чотири канали для прийому інформації. Циркуляційна установка уможливує проведення порівняльних досліджень захисної дії різних інгібіторів корозії в лабораторних умовах, а також підбір їх оптимальної концентрації в агресивному середовищі.

Циркуляція середовища в установці здійснюється за допомогою герметичного відцентрового насоса для виключення потрапляння кисню крізь сальники в середовище, оскільки його вміст в середовищі змінює механізм корозійних процесів, що значно знижує ефективність інгібіторів корозії [2]. До насосів такого типу належать відцентрові насоси, у яких обертовий момент передається через магнітну муфту та насоси з "мокрим ротором".

Циркуляційна установка складається з чотирьох циліндричних проточних комірок 1. Деталі комірок виготовлені з нержавіючої сталі. Електроди виготовляють з тієї ж марки сталі, що й трубопроводи, на яких впроваджується інгібіторний захист. Використання кільцевих електродів з внутрішньою робочою поверхнею дозволяє найбільш точно моделювати корозійні процеси, які проходять на стінці труби в потоці рідини. Електроди ізольовані один від одного прозорими втулками, що дозволяє візуально контролювати процеси, які проходять в потоці рідини.

Подавання інгібітора корозії в робоче середовище здійснюється за допомогою шприца крізь дозувальну голку, встановлену в гумовому короку вузла вводу 7.

У лабораторії протикорозійних досліджень НДПІ ВАТ "Укрнафта" постійно проводяться дослідження існуючих та нових інгібіторів корозії на стендовій установці в циркуляційній

Таблиця 1 – Результати досліджень ефективності інгібіторів корозії на стендовій установці в циркуляційній комплектації

Інгібітор	Ефективність інгібітора, %	
	Продування CO <sub>2</sub>	Продування N <sub>2</sub>
ОР-2К	78	60
КорМастер 1045	86	78
АКС	58	50
СНПХ 6438 Б	89	78
Напор 1010	78	84

комплектації. За результатами досліджень робляться висновки щодо доцільності впровадження досліджуваних інгібіторів на об'єктах структурних підрозділів ВАТ "Укрнафта".

Однак на початковому етапі впровадження даної методики виникало кілька проблем щодо відтворення реального корозійного середовища, яке транспортується на об'єктах ВАТ "Укрнафта". Згідно методики, описаної в паспорті до стендової установки, необхідною умовою для проведення досліджень є продування середовища вуглекислим газом з метою видалення розчиненого кисню з середовища, оскільки в закритих системах ППТ вміст розчиненого кисню є малоімовірним. Однак продування середовища вуглекислим газом призводить до різкого зменшення водневого показника рН середовища, і відповідно до зміни механізму корозійних процесів, що є причиною отримання недостовірних результатів ефективності інгібіторів корозії в нейтральному середовищі.

Цю проблему вирішено шляхом заміни вуглекислого газу на азот. Було досліджено кілька інгібіторів корозії в середовищах, продутих вуглекислим газом та азотом, і виявлено чітку різницю в їх ефективності. Одні інгібітори корозії краще працюють в середовищі з пониженим рН, інші – в нейтральному середовищі. Для дослідження було взято такі інгібітори корозії: ОР-2К, КорМастер 1045, АКС, СНПХ 6438Б та Напор 1010. Дослідження цих інгібіторів проводили на моделі пластової води з системи ППТ Анастасівського нафтового родовища НГВУ "Охтирканафтогаз". Характерною особливістю систем ППТ НГВУ "Охтирканафтогаз" є застосування високомінералізованих розсолів. Для заводного використання використовується підтоварна вода, попередньо відділена та очищена від нафти на УПС, а також пластова вода з водозабірних свердловин.

Результати досліджень ефективності даних інгібіторів корозії в середовищі, продутому вуглекислим газом та азотом, наведені в табл. 1.

Як видно з результатів стендових досліджень, ефективність одних інгібіторів корозії вища за пониженого рН, інших – в нейтральному середовищі. Виходячи з цього, необхідною умовою для початку досліджень інгібіторів корозії є визначення компонентного складу середовища, для якого підбирається інгібітор, а саме: визначення вмісту вуглекислого газу та кисню, оскільки обидва гази змінюють механізм корозійних процесів і потребують підбору

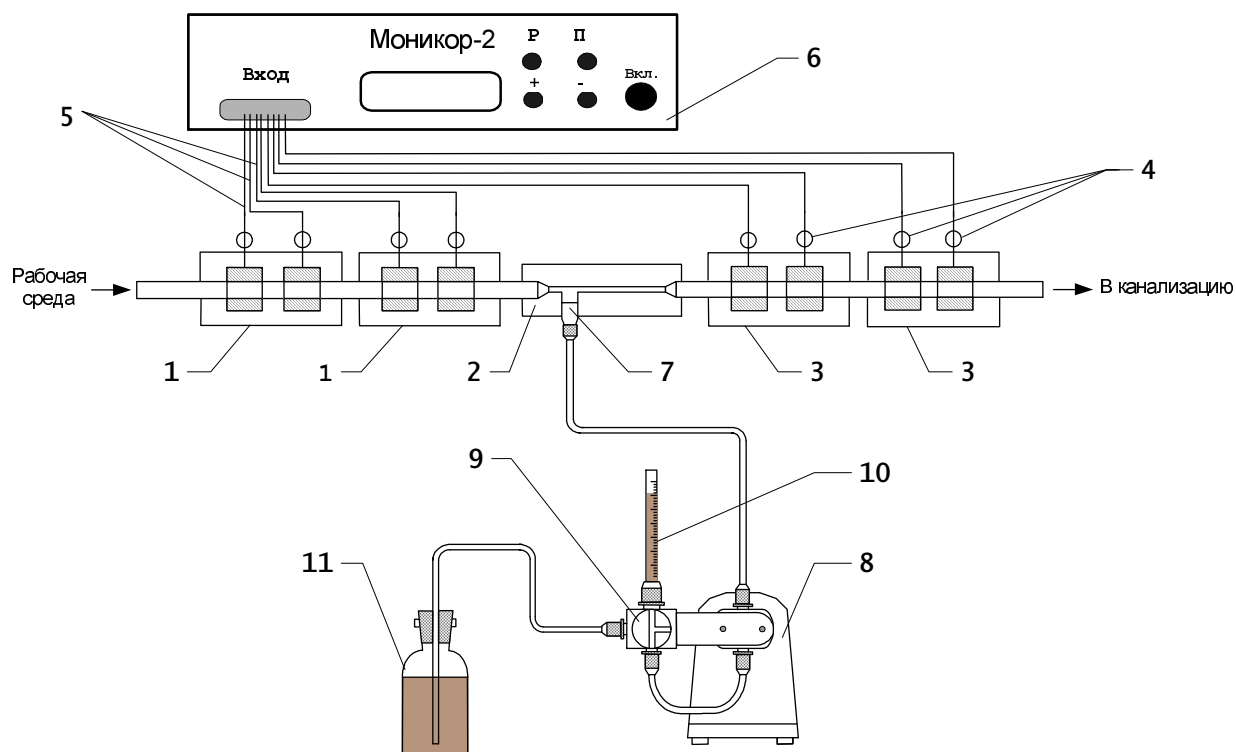
інгібіторів корозії, які працюють при даних механізмах корозійного розчинення металу. Отже, для систем, в яких середовище за водневим показником є нейтральне (рН>6,5), підбір інгібіторів корозії необхідно проводити в середовищі, продутому азотом, для експлуатаційних свердловин, де характерним є наявність високих парціальних тисків вуглекислого газу, і, відповідно, низьке значення рН (до 4), підбір інгібіторів корозії необхідно проводити в середовищі, продутому вуглекислим газом. У лабораторних умовах випробування інгібіторів корозії проводять за допомогою пілотної установки в проточній комплектації. Ця установка призначена для проведення корозійнометричних досліджень в промислових умовах у потоці робочого середовища з допомогою приладів, робота яких основана на методі лінійної поляризації. У комплекті з установкою використовуються корозиметри типу "Монікор-2". Пілотна установка дає змогу проводити порівняльні випробування захисної дії інгібіторів корозії і визначати оптимальне дозування подачі реагента в умовах, максимально наближених до реальних.

Схема пілотної установки в проточній комплектації зображена на рис. 2.

Подавання інгібітора корозії з ємності 11 здійснюється за допомогою мікродозуючого насоса 8 крізь триходовий кран 9 і штуцер 7 зі зворотним клапаном в змішувач 2, де за рахунок турбулентності потоку в каналі діаметром 3,5 мм відбувається змішування і диспергування інгібітора. Зворотній клапан, встановлений в штуцері, дає змогу від'єднувати трубку подачі реагента без відключення стенда. Для контролю за витратою реагента слугує мірна трубка 10.

Управління плунжерним механізмом здійснюється за допомогою електромагніта з регульованою частотою дозування. Зворотній хід плунжера здійснюється за рахунок стискання пружини його прямого ходу. Оптимальний діапазон роботи насоса від 10 до 60 ходів плунжера насоса за хвилину. Регулювання подачі здійснюється шляхом зміни частоти спрацювання електромагніта і довжини ходу плунжера.

Перед початком роботи необхідно домогтися потрібної витрати реагента  $q$  (мл/хв), який визначається через витрату робочого середовища  $Q$  (л/хв), концентрацію інгібітора корозії в розчині  $C_p$  (мг/мл) і необхідну концентрацію інгібітора в середовищі  $c_{inc}$  за відомою густиною розчину інгібітора  $\rho$  (г/л, мг/мл) за формулою



1 – контрольні комірки; 2 – змішувач; 3 – робочі комірки; 4 – контакти електродів;  
5 – кабель підключення приладу до електродів; 6 – індикатор швидкості корозії "Монитор-2";  
7 – штуцер змішувача; 8 – насос дозувальний; 9 – триходовий кран; 10 – мірна трубка;  
11 – ємність з інгібітором

**Рисунок 2 – Циркуляційна пілотна установка для проведення стендових досліджень інгібіторів корозії в промислових умовах**

**Таблиця 2 – Основні характеристики пластової води КНС Бугруватівського родовища**

Середовище	Загальна мінералізація, г/л	Вміст розчиненого кисню, мг/дм <sup>3</sup>	pH
Пластова вода	210	0,067	6,5

$$q = \frac{Q \cdot c_{нг}}{C_p \rho}$$

Під'єднання стендової установки до трубопроводу здійснюється за допомогою шланга відповідного діаметра до пробовідбірника з можливістю регулювання витрати пластової води. Швидкість потоку середовища в стендовій установці виставляється за витратою води  $Q$  (л/хв), і є співмірною з швидкістю потоку транспортуючого середовища в трубопроводі.

З метою підбору ефективних інгібіторів корозії для системи ППТ Бугруватівського нафтового родовища НГВУ "Охтирканафтогаз" було проведено стендові дослідження низки інгібіторів корозії. Перед початком стендових досліджень проведено комплекс робіт для визначення основних фізико-хімічних параметрів середовища, а саме: загальної мінералізації, pH, вмісту розчиненого кисню (табл. 2).

Як видно з табл. 2, пластова вода Бугруватівського родовища – це високомінералізований розсол з нейтральним pH, що свідчить про відсутність, або малі парціальні тиски вуглеки-

слога газу в системі ППТ. Вміст розчиненого кисню складає 0,067 мг/дм<sup>3</sup>, що вказує на низьку його концентрацію в системі, але достатню для корозійних процесів за механізмом кисневої деполяризації. Перевірку вищевикладеного проведено на дослідженні двох типів інгібіторів корозії: плівкоутворюючих (Напор-1010, СНПХ-6438Б) та тих, які мають здатність працювати в середовищі з розчиненим киснем, і, відповідно, в окисно-відновних системах (Альпан).

Результати досліджень зображені на рис. 3-5.

Як видно з рисунків 3-4, плівкоутворюючі інгібітори корозії Напор-1010 та СНАХ-6438Б забезпечують достатній захисний ефект 81 і 83 % відповідно, однак їх адсорбція відбувається не відразу після дозування, а приблизно через 5-10 хв. після подавання їх до системи. Нарощування плівки триває приблизно 50 хв. після початку дозування інгібітора корозії. Далі встановлюється рівновага між адсорбційно-десорбційними процесами.

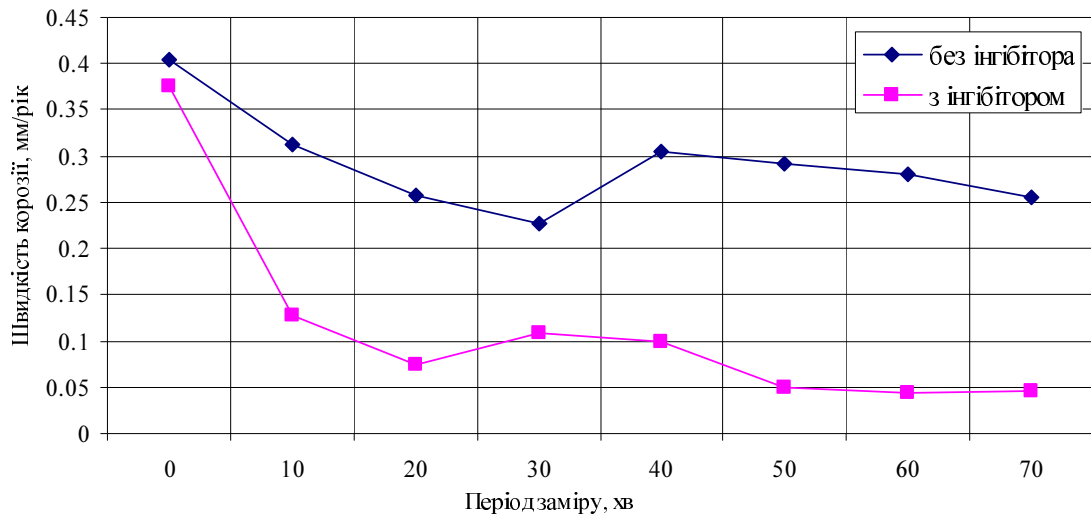


Рисунок 3 – Результати стендових промислових досліджень ефективності інгібітора корозії Напор-1010 на КНС Бугруватівського родовища НГВУ "Охтирканафтогаз"

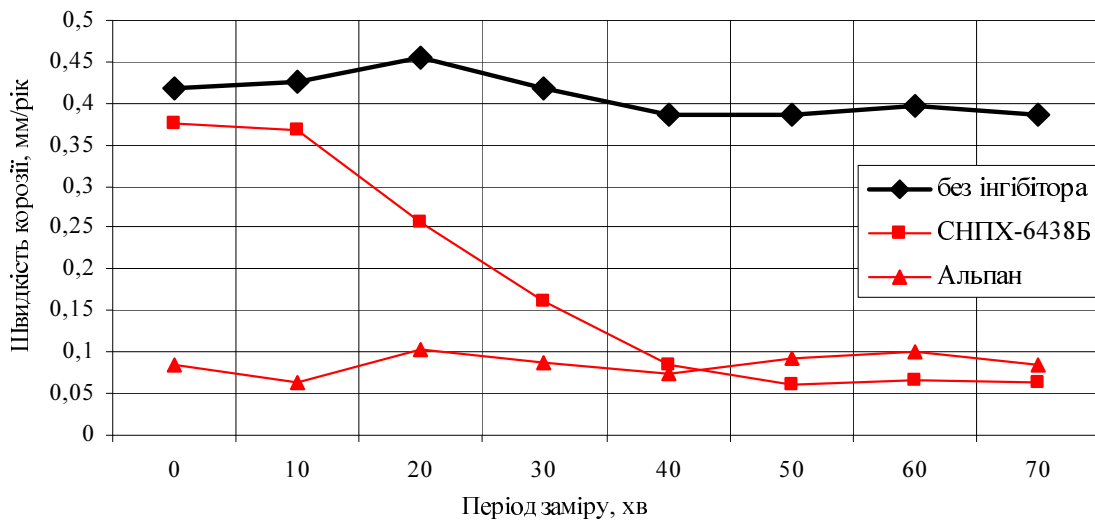


Рисунок 4 – Результати стендові промислових досліджень ефективності інгібіторів корозії СНПХ-6438Б та "Альпан" на КНС Бугруватівського родовища НГВУ "Охтирканафтогаз"

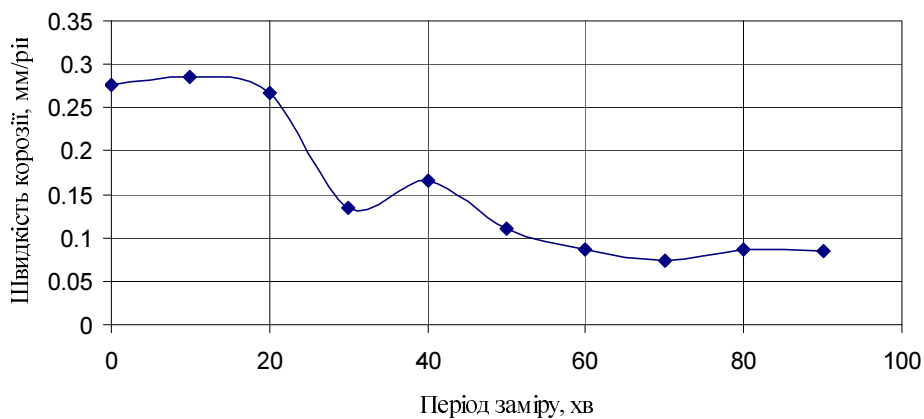


Рисунок 5 – Результати лабораторних досліджень ефективності інгібітора корозії "Альпан" на моделі пластової води КНС Бугруватівського родовища НГВУ "Охтирканафтогаз"

Інгібітор корозії "Альпан" відразу придушує корозійні процеси і зберігає так звану "кінцеву швидкість корозії" протягом всього періоду досліджень. Це вказує на те, що механізм дії даного інгібітора корозії базується на окисно-відновних процесах, які відбуваються в системі завдяки наявності розчиненого кисню.

Інгібітор корозії "Альпан" – це продукт отриманий на основі водорозчинних азото- та фосфоровмісних сполук. Тому цікавим є те, як він буде працювати в середовищі, де немає розчиненого кисню, а саме: чи буде він виявляти адсорбційні властивості на поверхні металу, чи, можливо, він працюватиме тільки за окисно-відновним механізмом.

Для цього були проведені лабораторні дослідження його ефективності в середовищі, що продувалось азотом до вмісту розчиненого кисню менше  $0,005 \text{ мг/дм}^3$ .

Як видно з рис. 5, інгібітор корозії "Альпан" так само як і Напор-1010 та СНПХ-6438Б, працює за механізмом адсорбційно-десорбційних процесів, однак його ефективність є дещо нижчою порівняно з ефективністю у середовищі з вмістом розчиненого кисню. Тому даний інгібітор рекомендовано для захисту систем ППТ з відкритою водопідготовкою.

Отже, застосування стендової установки для лабораторних та промислових досліджень інгібіторів корозії є ефективним. Результати таких досліджень дають інформацію про ступінь ефективності інгібіторів корозії, а також уявлення про механізм та динаміку адсорбційних процесів, що особливо допомагає під час впровадження нових інгібіторів корозії на об'єктах ВАТ "Укрнафта".

## *Література*

1 Обстеження на корозійну агресивність продукції у видобувних, водозабірних свердловинах і підтоварної води на родовищах ВАТ "Укрнафта" та видача рекомендацій щодо інгібіторного захисту. Створення атласу агресивної продукції: звіт про науково-дослідну роботу / НДПІ ВАТ "Укрнафта"; кер. Григораш В.В., вик. Вишневський Р.М., Попович С.Д., Городівська Г.В. – Івано-Франківськ, 2008. – 205 с.

2 Вишневський Р.М. Застосування методу лінійної поляризації (LPR) для моніторингу ефективності інгібіторного захисту нафтопромислового обладнання / Вишневський Р.М., Григораш В.В., Кісіль І.С., Дранчук М.М. // Методи та прилади контролю якості. – 2008, №21. – С.91-96.

*Стаття поступила в редакційну колегію*  
26.06.09

*Рекомендована до друку професором*  
**В. С. Бойком**