

«1» 2017 г.« » 2017 p.

Київ 2017

ЗМІСТ

1. Мета випробувань.....	3
2. Характеристика обладнання корозійного моніторингу.....	3
3. Встановлення обладнання корозійного моніторингу	7
4. Результати корозійного моніторингу.....	9
4.1. КК «Макіївська».....	9
4.2. РК «Молодь»	14
4.3. РК «Нивки».....	20
5. Оцінка корозивності теплоносія в лабораторних умовах.....	22
6. Аналіз корозивності теплоносія на об'єкті	26
7. Пропозиції подальших випробувань	28
Висновки	29

1. Мета випробувань

Метою роботи є: перевірка роботи приладів корозійного контролю (корозиметрів) в умовах промислової експлуатації; визначення доцільності і ефективності їх використання для контролю корозійних процесів у теплових мережах; можливість застосування електрохімічного методу визначення корозійної активності тепломережної води в режимі реального часу як додаткового або альтернативного масометричному методу.

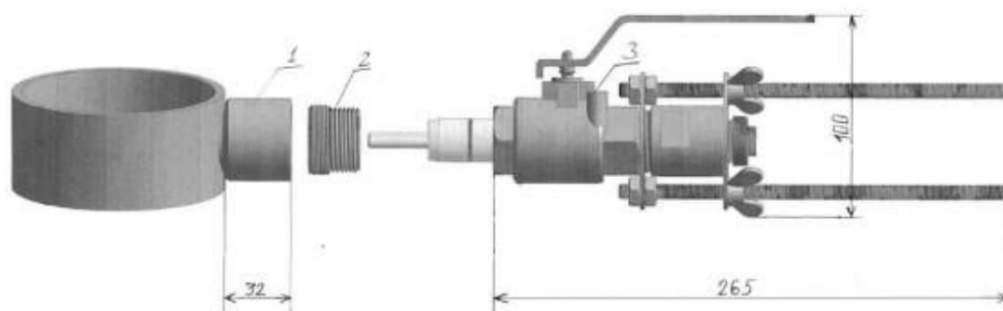
Очікувані результати:

- оцінка корозивності теплоносія в режимі реального часу;
- оцінка впливу на корозивність теплоносія таких факторів як: зміна об'ємів підживлення, перебої в роботі деаераторів, зміна дозування реагентів;
- узгодженість результатів визначення швидкості корозії традиційним ваговим методом та електрохімічним методом поляризаційного опору.

2. Характеристика обладнання корозійного моніторингу

Для виконання корозійного моніторингу в режимі реального часу використовується електрохімічних метод визначення швидкості корозії за поляризаційним опором металу. Даний метод реалізований в обладнанні виробництва ТОВ «ГАНТІКОР», що було передано в хімічну службу СВП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ» ПАТ «КИЇВЕНЕРГО» в рамках пілотного проекту.

1. Двохелектродний датчик корозії ДК-2. Первинний перетворювач системи корозійного моніторингу, монтується безпосередньо в трубопровід. Спеціальна конструкція датчика дозволяє проводити його вилучення без зупинки тепломережі. Чутливими елементами датчика є електроди, виготовлені із маловуглецевої сталі Ст20.



1 – патрубок, який вже наварено;

2 – перехід, що дозволяє приєднати новий датчик до патрубка (надається);

3 – датчик корозії ДК-2 (надається).

Рисунок 1 – Двохелектродний датчик корозії ДК-2.

2. Стационарний корозиметр ІК-4с. Прилад призначений для автоматичного виконання корозійного моніторингу. Працює в комплекті із двома датчиками корозії типу ДК-2. Результати визначення миттєвої швидкості корозії (мм/рік) заносяться у внутрішню пам'ять приладу, звідки можуть бути зчитані на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу. Прилад виконано у захисній шафі, він розміщується на котельні, підключається до електричної мережі.



Рисунок 2 – Стационарний корозиметр ІК-4с.

3. Портативний корозиметр ІК-4п. Переносний прилад із автономним живленням. Працює в комплекті із датчиком корозії ДК-2. Дозволяє проводити періодичні визначення швидкості корозії та зберігати результати у внутрішню пам'ять. В подальшому, результати можуть бути зчитані на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу.



Рисунок 3 – Портативний корозиметр ІК-4п.

4. Лабораторний корозиметр Р5126. Стаціонарний прилад із живленням від електричної мережі. В комплект приладу входить 4 корозійні комірки, які заповнюються аналізованою водою (теплоносієм) у місці відбору проб на котельні. Прилад призначений для оцінки корозивності теплоносія за відсутності датчика в трубопроводі.



Рисунок 4 – Лабораторний корозиметр Р5126 з набором комірок для визначення корозивності.

5. Портативний корозиметр ІК-4п з електрохімічною коміркою. Даний комплект обладнання дозволяє проводити визначення корозивності теплоносія за відсутності датчика корозії в трубопроводі безпосередньо в котельній. До складу комплекту входить портативний корозиметр ІК-4п (див. пункт 3) та спеціальна комірка, обладнана індикатором температури.



Рисунок 5 – Портативний корозиметр ІК-4п з електрохімічною коміркою.

3. Встановлення обладнання корозійного моніторингу

Корозиметри Р5126 та ІК-4п було передано в хімічну службу. Решта обладнання встановлено на котельнях. Розподіл обладнання за об'єктами наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл корозиметрів ІК-4с

Об'єкт	Трубопровід встановлення	ДК-2	ІК-4с
РК «Молодь»	Підживлення	1	1
	Зворотній	1	
РК «Нивки»	Зворотній 1	1	1
	Зворотній 2	1	1
КК «Макіївська»	Прямий	1	1
	Зворотній	1	
Всього		6	4

Фото встановленого обладнання наведено на рисунках 6-9.



Рисунок 6 – Обладнання на РК «Молодь»



Рисунок 7 – Обладнання на РК «Нивки»



Рисунок 8 – Обладнання на котельні «Макіївська»



Рисунок 9 – Обладнання в лабораторії хімічної служби (бул. Перова 4а)

4. Результати корозійного моніторингу

4.1. КК «Макіївська»

На даній котельній проводяться дослідно-експлуатаційні випробування технології обробки тепломережевої води засобом протинакипним протикорозійним “ЛВХ-1.1В” в умовах відключення штатної установки пом’якшення води Na-катіонітними фільтрами з дозуванням реагенту пропорційно до об’єму підживлення.

На початку опалювального сезону 2016-2017 на трубопроводі тепломережі було встановлено обладнання для вимірювання миттєвої швидкості корозії (датчики корозії). Додатково на котельній було встановлено традиційні індикатори корозії (індикаторні пластини) для визначення швидкості корозії ваговим методом. Вимірювання почато з 05.11.2016.

Криві зміни миттєвої швидкості корозії з часом наведено на рисунку 10. Для порівняння на рисунку 11 нанесено також дані по об’єму підживлення та дані по вмісту фосфатів у мережній воді. Концентрація фосфатів характеризує концентрацію реагенту “ЛВХ-1.1”.

Вихідний рівень швидкості корозії дорівнював 0,1 мм/рік в трубопроводі подачі мережевої води та 0,05 мм/рік в зворотному трубопроводі. В період з 14.11.16 по 25.11.16 дозування реагенту не проводилось з причини виходу з ладу насос-дозатора та проведення в котельній ремонту із заміни трубопроводу підживлювальної води. З цього часу за показаннями датчиків корозії відзначається поступове зростання швидкості корозії – на зворотному трубопроводі швидкість корозії зросла до 0,1 мм/рік.

Піки на кривих швидкості корозії повністю узгоджуються із даними об'єму підживлення (див. 04.12.16, 03.01.17), що свідчить про суттєвий вплив на швидкість корозії аварійних пошкоджень мережевих трубопроводів і високу чутливість обладнання корозійного моніторингу. Після проведення відновлювальних робіт та заповнення мережі в систему додавався значний об'єм “сирої” води. Оскільки насос-дозатор вводить фіксовану дозу реагенту, під час різкого збільшення об'єму підживлювальної води потрібен деякий час для насичення мережі достатньою кількістю реагенту. Тому, вірогідною причиною росту швидкості корозії в період 05.12.16-10.01.17 є недостатня кількість реагенту, що був втрачений внаслідок пориву та ремонтних робіт. Кисень, що потрапив до системи у великій кількості, призвів до зростання швидкості корозії, і лише при досягненні в системі достатньої кількості реагенту швидкість корозії почала знижуватись. Починаючи з 09.01.17 спостерігається ріст концентрації фосфатів до рівня 20 мг/л за рахунок збільшення дози реагенту. Цьому відповідає швидке зниження швидкості корозії з 0,6 до 0,2 мм/рік в період з 09.01.17 по 22.01.17.

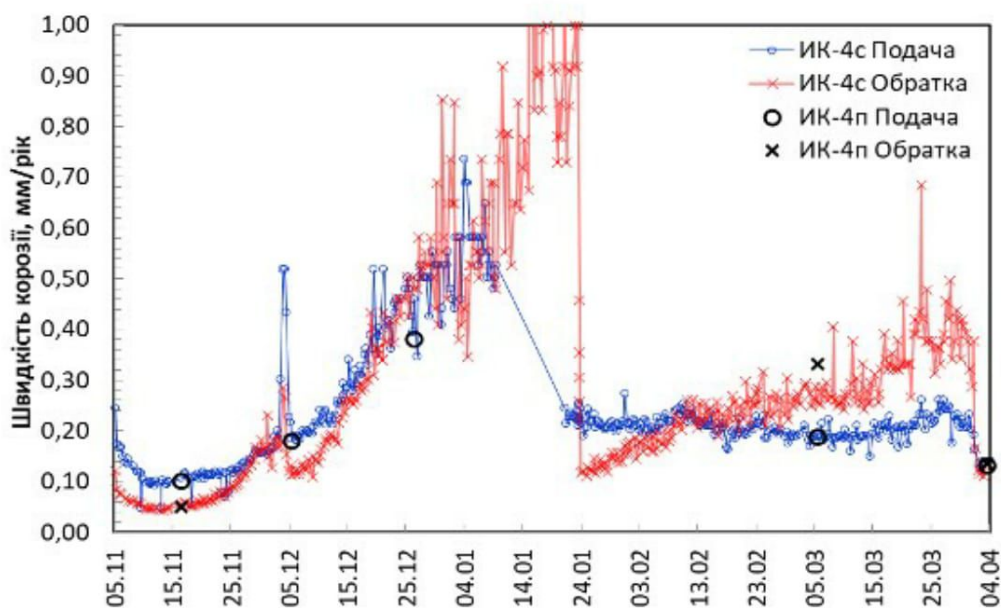


Рисунок 10 – Залежності швидкості корозії від часу на КК “Макіївська”:

ІК-4с – стаціонарний індикатор корозії;

ІК-4п – портативний індикатор корозії.

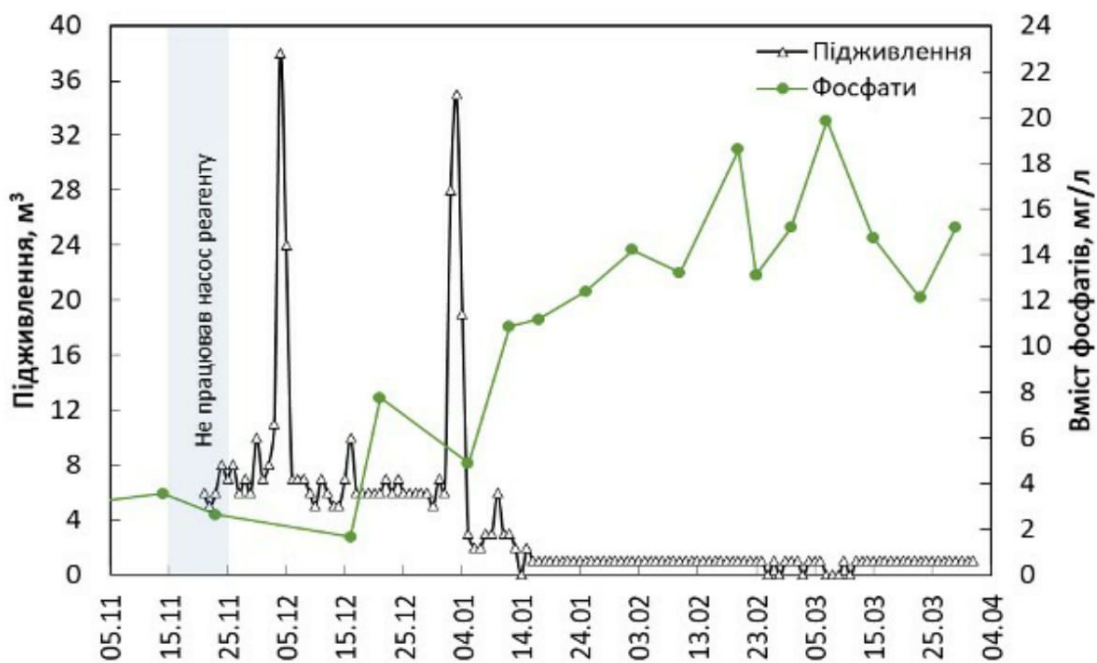


Рисунок 11 – Об'єм підживлення і концентрація фосфатів, КК “Макіївська”

В подальшому, швидкість корозії тримається на постійному рівні – 0,2 мм/рік на датчику, встановленому у трубопроводі подачі, і повільно зростає з 0,15 до 0,3 мм/рік на зворотній лінії трубопроводу. По закінченні опалювального сезону результати визначення миттєвої швидкості корозії було проінтегровано для визначення середнього значення швидкості корозії. Дані представлено в таблиці 2.

14.04.17 відбулося зняття індикаторів корозії. Фото індикаторів одразу після вилучення наведено на рисунку 12. Одразу привертає увагу той факт, що на поверхні відсутні коричневі продукти корозії, поверхня вкрита рівномірним шаром чорного кольору. Локальні осередки корозії не спостерігаються. Після проведення відповідної підготовки індикаторів корозії, було визначено глибинний показник швидкості корозії ваговим методом. Результати наведено в таблиці 2.



Рисунок 12 – Індикатори корозії КК “Макіївська”.

Таблиця 2 – Швидкість корозії на КК “Макіївська”.

Трубо- провід	Ваговий метод, мм/рік	Електрохімічний метод, мм/рік	Похибка, %
Прямий	0,22	0,253	4,5
Зворотній	0,33	0,313	

Таким чином, на даній котельні розходження між традиційним ваговим та електрохімічним методами визначення швидкості корозії не перевищує 5%. При цьому обладнання корозійного моніторингу дозволяє в режимі реального часу оцінити ефективність інгібіторного захисту, вплив підживлення та концентрації фосфатів на швидкість корозії.

Реагент “ЛВХ-1.1В” має протикорозійні властивості, але отримані значення швидкості корозії перевищують норматив 0,05 мм/рік. Можливою причиною низької ефективності реагенту в якості інгібітору є його поглинання шламом, що у великій кількості знаходиться в теплоносії. Джерелом шламу є осадки на внутрішній поверхні труб (рис. 13). Під дією реагенту вони розчиняються, але з системи не виносяться.



Рисунок 13 – Фото внутрішньої поверхні трубопроводу котельні “Макіївська”, вкритого шаром осаду продуктів корозії.

Для перевірки вмісту фосфатів у шламі виконано забір води із нижнього колектору котла. Шлам було відфільтровано, висушено та проаналізовано на вміст фосфору рентгенофлюорисцентним методом (таблиця 3). Вміст фосфору в шламі становить 2,6 %. Це підтверджує припущення щодо накопичення інгібітору в шламі, що веде до зниження

його концентрації у воді. В цих умовах кількість реагенту для формування захисного шару на внутрішній поверхні труб недостатня. Отже, внаслідок поглинання реагенту шламом, його кількість в системі недостатня для формування захисного протикорозійного шару на поверхні труби, відповідно швидкість корозії перевищує нормативне значення, особливо при високих об'ємах підживлення.

Таблиця 3 – Елементний склад шламу із колектора котла

Елемент	Масова частка в шламі, %
Si ¹⁴	6,409 ± 0,242
P¹⁵	2,611 ± 0,110
S ¹⁶	0,335 ± 0,029
Ca ²⁰	1,750 ± 0,114
Fe ²⁶	84,195 ± 0,272

Для збільшення ефективності протикорозійного захисту при застосуванні реагенту ЛВХ 1.1 необхідно виконувати періодичні продувки котлів для видалення шламу із системи, як це передбачено правилами експлуатації. На першому етапі дозування реагенту (коли реагент починають застосовувати на котельні) частоту продувок слід збільшити. В іншому разі реагент поглинається шламом, його діюча концентрація зменшується, а разом із тим – знижується ефективність захисту.

4.2. РК «Молодь»

На даному об'єкті термін експозиції датчиків корозії і традиційних індикаторів різний. Так, індикатори корозії було встановлено 16.05.16 р, а знято 21.06.17. В той же час обладнання корозійного моніторингу працювало лише при роботі котельні – з 16.10.16 по 31.03.17. Криві зміни миттєвої швидкості корозії з часом наведено на рис. 14.

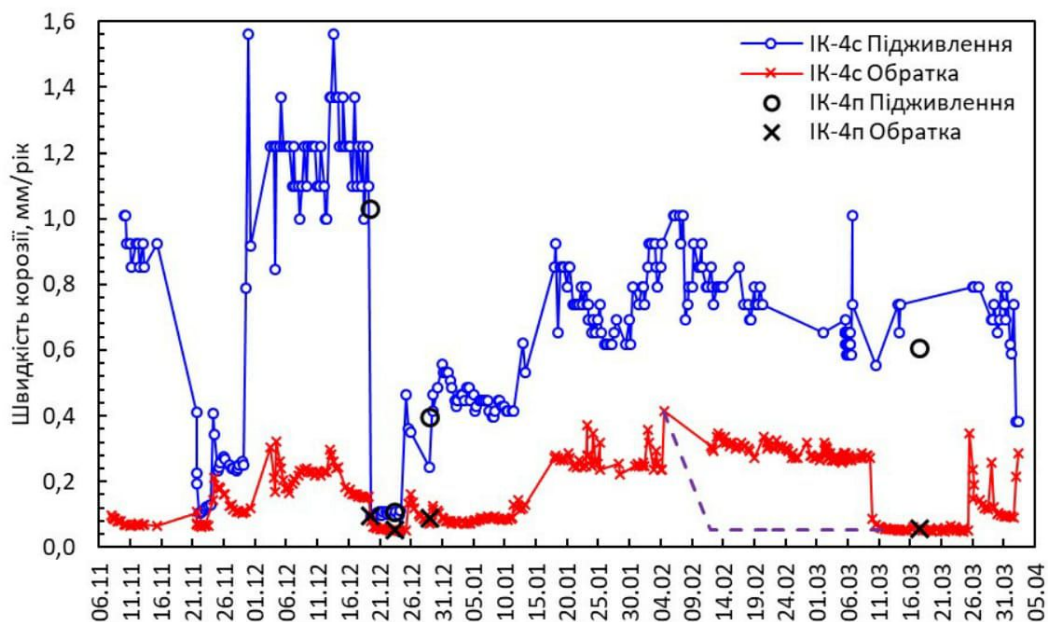


Рисунок 14 – Залежності швидкості корозії від часу на РК «Молодь».

Пунктирна лінія відповідає зниженню швидкості корозії
після усунення течі в бойлері.

ИК-4с – стаціонарний індикатор корозії;

ИК-4п – портативний індикатор корозії.

Миттєві значення швидкості корозії на зворотному трубопроводі знаходяться в межах 0.05-0.10 мм/рік впродовж опалювального сезону. Починаючи з 20.01.17 на зворотному трубопроводі починається ріст швидкості корозії до 0,25 мм/рік. Хімічний аналіз води показав зростання карбонатного індексу в період з 24.01.17 по 30.01.17, що було спричинено поривом бойлера та перетіканням «сирої» води в теплову мережу. Після ліквідації пориву 30.01.17 склад води повернувся до нормативних значень. В той же час, миттєві значення швидкості корозії знаходилися на рівні 0,25 мм/рік навіть після ліквідації пориву. Для відновлення роботи датчика електроди було замінено на нові 09.03.17. Показник швидкості корозії після заміни електродів одразу знизився до нормативного 0,051 мм/рік. Та

тримався на цьому рівні до закінчення опалювального сезону. Для розрахунку середнього значення швидкості корозії прийнято, що показник швидкості корозії на датчику змінився одразу після ліквідації пориву.

21.06.17 відбулося зняття індикаторів корозії. Фото індикаторів одразу після вилучення наведено на рисунку 15.



Рисунок 15 – Індикатори корозії РК “Молодь”.

Після проведення відповідної підготовки індикаторів корозії, було визначення глибинні показники ваговим методом. Результати визначення швидкості корозії наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Швидкість корозії на РК “Молодь”.

№	Трубопровід	Ваговий метод, мм/рік	Електрохімічний метод, мм/рік
		16.05.16 – 21.06.17.	16.10.16 – 31.03.17
1	Підживлення	0,078	0,71
2	Зворотній	0,12	0,13

На зворотному трубопроводі котельні розходження між традиційним ваговим та електрохімічним методами визначення швидкості корозії не перевищує 8%.

Значення швидкості корозії на трубопроводі підживлення знаходилися на дуже високому рівні впродовж опалювального сезону. Висока швидкість корозії не узгоджується із результатами хімічних аналізів води даного трубопроводу. За період випробувань показники розчиненого кисню та вуглекислоти знаходились в межах норми – кисень не вище 10 мкг/л, вуглекислота відсутня. 21.11.16 було виконано заміну електродів датчика швидкості корозії на трубопроводі подачі, і протягом 10 діб швидкість корозії трималась на низькому рівні. Але 29.11.16 відбулося стрімке зростання швидкості корозії до 1 мм/рік. Така висока швидкість корозії після заміни електродів датчика не може бути пов'язана із роботою обладнання корозійного моніторингу і потребувала подальшого аналізу.

Електроди датчика корозії після вилучення 21.11.16 мали нехарактерне рожево-коричнєве забарвлення (рис. 16).



Рисунок 16 – Фото електродів датчика корозії, вилученого з трубопроводу підживлення 21.11.16 РК «Молодь»

Поверхню електродів було піддано хімічному аналізу рентгенофлюорисцентним методом. Результати аналізу наведено на рис. 17. В результаті аналізу встановлено, що на поверхні електродів присутня металічна мідь (5,2 %).

Результаты для спектра из файла Me1

Печать
Печать
Печать
Обработка
Выход

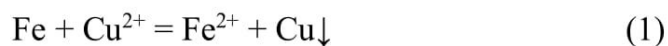
Комментарий
Me

Таблица: массовые доли хим. элементов

Элемент	Доля. %	Погр. %
☐ 14Si	2.778	0.111
☐ 15P	0.158	0.027
☐ 16S	0.146	0.013
☐ 25Mn	0.335	0.027
☐ 26Fe	90.234	0.134
☐ 28Ni	0.047	0.017
☐ 29Cu	5.178	0.072
☐ 30Zn	1.124	0.032

Рисунок 17 – Аналіз поверхні електродів (датчик трубопроводу підживлення РК «Молодь»).

Оскільки електроди виготовлені зі сталі, металічна мідь може осідати на їх поверхні лише при протіканні реакції контактного обміну:



Для протікання даної реакції необхідна наявність у воді іонів міді. Для визначення їх джерела було проаналізовано схему водопідготовки котельні. Визначено, що холодна вода перед надходженням в мережу проходить ряд стадій підготовки. Схему водопідготовки наведено на рис. 18.

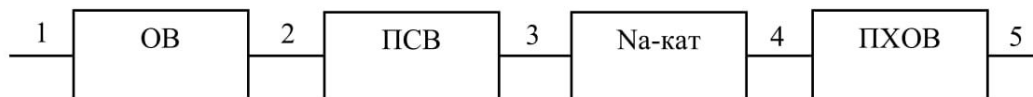


Рисунок 18 – Схема водопідготовки котельні РК «Молодь»



Рисунок 19 – Теплообмінники водопідготовки котельні РК «Молодь»

Згідно технічної документації апарати ОВ, ПСВ та ПХОВ – це трубчаті теплообмінники, з латунними трубками. Корозія латунних трубок може бути джерелом іонів міді:



Для виявлення корозії даних апаратів в контрольних точках 1-5 (рис. 18) було відібрано проби води та виконано аналіз на вміст іонів міді. Результати аналізу (додаток 1) показали, що концентрація міді в процесі водопідготовки зростає у 12 разів, від 0,01 мг/л у воді з водоканалу до 0,12 мг/л перед деаератором. Таке збільшення концентрації міді у воді є наслідком корозії латунних трубок теплообмінників.

Іони міді є небезпечними для роботи теплової мережі, оскільки здатні виступати додатковим деполяризатором (окисником) сталі. В місцях контакту іонів із поверхнею металу утворюється металічна мідь за реакцією (1), що призводить до розчинення заліза. В подальшому осаджена мідь в парі із металом труби (сталь) утворює гальванічну пару, в якій анодом виступає сталь. Це прискорює розчинення та руйнування трубопроводу (утворення корозійних виразок).

Оскільки затвердженим об'ємом хімконтролю хімічної служби виконання аналізів на вміст міді в тепломережній воді не передбачено, можливість зафіксувати даний корозійний агент відсутня. На відміну від хімічного аналізу, обладнання корозійного контролю реагує не на певні

хімічні речовини, а на швидкість корозії взагалі, тому дозволило виявити дану корозійну проблему.

4.3. РК «Нивки»

На даному об'єкті термін експозиції датчиків корозії і традиційних індикаторів також різний. Так, індикатори корозії було встановлено 08.06.16 р, а знято 17.08.17. В той же час обладнання корозійного моніторингу працювало з 16.11.16 по 24.06.17.

Криві зміни миттєвої швидкості корозії з часом наведено на рис. 20. На першому етапі (з 16.11.16 по 06.01.17) спостерігається зростання швидкості корозії. Дане зростання відбулося внаслідок неповного введення датчиків в трубопровід через невідповідність розміру патрубку і датчика. Недолік було усунуто 06.01.17 шляхом зменшення діаметру датчика ДК-2. В подальшому, швидкість корозії тримається на постійному рівні – 0,05-0,08 мм/рік.

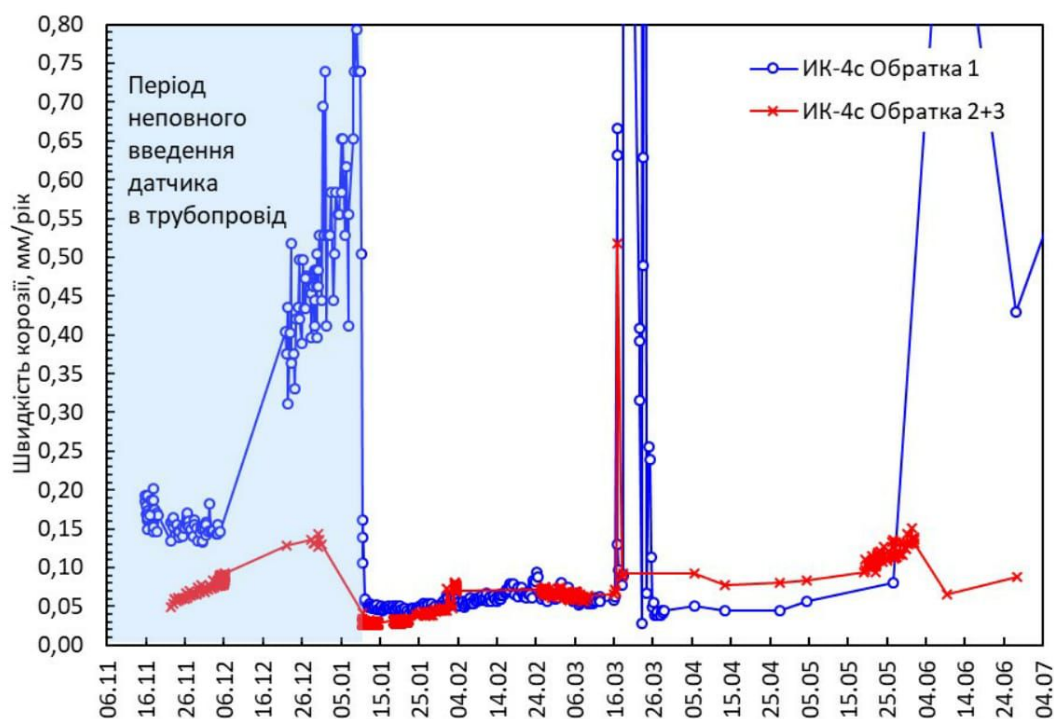


Рисунок 20 – Залежності швидкості корозії від часу на РК «Нивки»

Значне зростання швидкості корозії спостерігається в період з 16.03.17 по 26.03.17, що узгоджується із даними хімічного аналізу води. В цей період спостерігається зростання вмісту вуглекислоти (з 18.03.16 по 24.03.17). Починаючи з 19.05.17 року у зв'язку із відсутністю сталого газопостачання робота деаераторів проводилась не в штатному режимі. Одночасно на кривих спостерігається значне зростання швидкості корозії.

Результати визначення швидкості корозії ваговим та електрохімічним методами наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – порівняння результатів визначення швидкості корозії котельні РК «Нивки»

№	Трубопровід	Ваговий метод, мм/рік	Електрохімічний метод, мм/рік
		08.06.16 – 17.08.17.	16.11.16 – 24.06.17.
1	Обратка 1	0,079	0,105
2	Обратка 2	0,041	0,079
3	Обратка 2	0,058	

Як видно з таблиці, дані вагового та електрохімічного методів є близькими, хоча і дещо відрізняються. Так, швидкості корозії, визначені електрохімічним методом, є дещо вищими (до 25%). Вірогідною причиною такого розходження є різний час експозиції індикаторів і датчиків. Оскільки індикатори були встановлені раніше і вилучені пізніше розрахована з них швидкість корозії є дещо нижчою.

В той же час електрохімічний метод дозволяє в режимі реального часу виявляти зміни в агресивності середовища, та, відповідно, реагувати на них (див. показання в період 16.03.17-24.03.17). Ваговий метод позбавлений такої можливості.

7. Пропозиції подальших випробувань

Результати, отримані в пілотному проекті, показують, що електрохімічний метод визначення швидкості корозії не поступається за точністю традиційному ваговому і його можна використовувати як додатковий або альтернативний. Проте, для підвищення ефективності роботи електрохімічного методу та спрощення процедури отримання та аналізу даних обладнання корозійного моніторингу слід модернізувати, передбачивши опцію дистанційної передачі даних з корозиметра до мережі інтернет з подальшою можливістю дистанційного доступу до результатів. Таке удосконалення дозволить:

1. Автоматизувати збір даних;
2. Отримувати значення корозивності в режимі реального часу безпосередньо в хімічній службі;
3. Реагувати на зміни корозивності в момент їх виникнення.

Ще одним фактором при виконанні корозійного моніторингу є розуміння джерел потрапляння корозійних агентів до теплової мережі. Одним джерелом є вода, яка подається для підживлення системи. Звичайно, дана вода проходить водопідготовку та не містить агресивних газів. Лише у випадку коли об'єм підживлення перевищує можливості обладнання для водопідготовки у теплову мережу може потрапляти кисень та вуглекислота. Проте, часто трапляються випадки, коли джерелом корозійних агентів є пошкоджені бойлери гарячої води. Внаслідок більшого тиску в системі гарячого водопостачання холодна вода з водоканалу потрапляє в теплову мережу. Розчинений в ній кисень та вугільна кислота витрачається на корозію і на зворотному трубопроводі котельної не фіксуються. Тому визначення таких пошкоджених бойлерів виконується на основі карбонатного індексу.

Для контролю стану бойлерів рекомендується використати електрохімічний метод визначення швидкості корозії. Датчики слід встановити на лінії теплоносія до і після бойлера, а показники корозивності будуть дистанційно передаватися з теплового пункту. При відсутності пошкодження бойлера швидкість корозії до та після бойлера буде однакою. При виникненні пошкоджень в бойлері швидкість корозії після бойлера буде вищою внаслідок потрапляння недеаерованої води. Це дозволить виявляти пошкоджені бойлери в режимі реального часу та значно скоротить трудові затрати на пошук несправності.

З урахуванням зазначених пропозицій в подальшому пропонується провести випробування системи корозійного моніторингу на основі стаціонарних індикаторів корозії ІК-4с, обладнаних модулем дистанційної передачі даних.

Висновки

Впродовж опалювального сезону 2016/17 року виконаний пілотний проект за програмою «Проведення промислових випробувань приладу корозійного контролю ІК-4с з датчиками корозії ДК-2» на котельнях РК «Нивки» (вул. Салютна, 23-Б), РК «Молодь» (вул. Дегтярівська, 46), квартальній котельні «вул. Макіївська, 46» СВП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ» ПАТ «КИЇВЕНЕРГО». За результатами виконання проекту можна зробити наступні висновки.

1. Обладнання корозійного моніторингу на основі електрохімічного методу дозволяє визначати швидкість корозії трубопроводу в режимі реального часу. Середні значення швидкості корозії, визначені електрохімічним методом, задовільно узгоджуються із відповідними величинами, визначеними ваговим методом.
2. Електрохімічний метод дозволяє визначати вплив різних факторів на швидкість корозії: об'єм підживлення, концентрація інгібітору

корозії, наявність корозійних процесів в обладнанні водопідготовки та пошкодження бойлерів систем гарячого водопостачання. Висока чутливість та оперативність даного методу можуть бути використані для подальшого контролю цих параметрів.

3. Результати визначення швидкості корозії портативним ІК-4п та стаціонарним ІК-4с корозиметрами знаходяться на одному рівні. Портативний корозиметр доцільно застосовувати для визначення швидкості корозії на ділянках трубопроводу, де немає можливості встановити стаціонарний корозиметр.
4. За результатами пілотного проекту стаціонарні корозиметри ІК-4с для виконання корозійного моніторингу рекомендуються до впровадження на об'єктах ПАТ «КИЇВЕНЕРГО».

Погоджено:

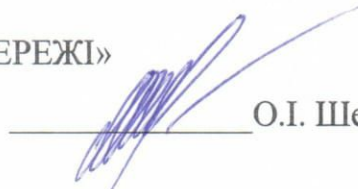
Від ТОВ «ГАНТИКОР»

Науковий консультант, к.т.н.

 Г.С. Васильєв

Від СВП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»

Заступник головного інженера

 О.І. Шелест

Начальник хімічної служби

 О.А. Загородній