

*Леонид ДОВГАЛОВ, Татьяна КРАСНОКУТСКАЯ, Анна УШАКОВА,
Борис ШУКАЙЛО*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В СРЕДАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*ООО НТП “Экор”
пр. Гвардейский 45-25, г. Северодонецк, 93400. E-mail: ntp.ekor@gmail.com
ООО НИПИ “Водоочистные технологии”
ул. Гоголя 16, г. Северодонецк, 93400. E-mail: ivt@nipi-vt.com.ua*

*Leonid DOVGALOV, Tatiana KRASNOKUTSKAYA, Anna USHAKOVA,
Boris SHUKAYLO*

CORROSION RATE DETERMINATION BY ELECTRICAL RESISTANCE METHOD IN HOT WATER SUPPLY ENVIRONMENTS

*LLC REE “Ekor”
45-25, Gvardeysky blv., Severodonetsk, 93400Ukraine. E-mail:ntp.ekor@gmail.com
LLC SRDI “Water treatment technologies”
16, Gogolya st., Severodonetsk, 93400 Ukraine. E-mail:ivt@nipi-vt.com.ua*

ABSTRACT

Corrosion rate control of construction materials allows to assess the corrosion damage level, to predict the operating life of the equipment, to obtain the data about the inhibitor effectiveness.

The main problem in the corrosion monitoring is the objective corrosion rate measuring during the operation.

In the paper the corrosion measurement results of Ст3 in model hot water supply environments, obtained with gravimetric method and electrical resistance method, are presented.

The testing in aerated water and artesian water with phosphonate additives and also in softened water with sodium bisulphate addition were held.

Physico-chemical parameters of investigated waters (alkalinity, water hardness, chloride content, iron content etc.) were determined by standard methods.

Gravimetric measurements were carried out on surveillance specimens and controlled equipment area.

For corrosion rate measurement the high resolution electrical resistance method was used. It consists in precision measurement of corrodible metal thickness (diameter). The thickness (diameter) is determined by electrical resistance taking into account the temperature compensation.

The measuring was carried with corrosion rate control system, which consists of corrosion sensor, controlled equipment area, corrosimeter, controller, working station. Measurement results was obtained online and transmitted by telemetry means.

Gravimetric measurement data of surveillance specimens and controlled equipment area showed a good convergence with system indications.

Conducted research confirmed the operability of the corrosion rate control system. The data, obtained from corrosion sensor can be used for continuous inhibitor delivery in hot water supply systems.

KEY WORDS: *corrosion control, corrosion sensor, electrical resistance method, hot water supply, inhibitor.*

ВВЕДЕНИЕ

Постоянный контроль скорости коррозии конструкционных материалов позволяет оценить степень коррозионных повреждений, прогнозировать остаточный ресурс оборудования, повысить безопасность эксплуатации, получать своевременные данные об эффективности ингибитора.

Основной проблемой при проведении коррозионного мониторинга является правильный выбор метода контроля, использование надлежащего математического аппарата для обработки результатов и передача информации на большие расстояния, объективное измерение скорости коррозии конструкционных материалов в процессе эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки корректности определения скорости коррозии углеродистой стали в средах систем горячего водоснабжения различными методами были проведены испытания на стендовой циркуляционной установке. При этом скорость коррозии углеродистой стали определяли при помощи системы контроля СИКОРЕ и сравнивали со скоростью коррозии образцов-свидетелей.

Принцип работы системы основан на методе электрического сопротивления высокого разрешения (High-Resolution ER) [1, 2], который заключается в прецизионном измерении диаметра либо толщины измерительной части датчика, находящейся в коррозионной среде, с учетом влияния температуры. Через измерительную и эталонную часть датчика пропускается одинаковый ток. При этом измеряли падение напряжения на измерительной и эталонной частях датчика и вычисляли их соотношение. Соотношение падений напряжения равно соотношению сопротивлений. Для исключения влияния на коррозионные процессы разность потенциалов между концами измерительной части составляла не более 20 мВ. По соотношению сопротивлений рассчитывается диаметр либо толщина измерительной части датчика, а по изменению диаметра (толщины) во времени определяется скорость коррозии.

Исключение влияния температуры на величину соотношения обеспечивается использованием эталонной части, которая изготовлена из того же металла и имеет ту же температуру, что и измерительная (рис. 1 а).

Поскольку в условиях действующих производств не всегда возможно установить датчик в оборудование, разработчиками системы предложен в качестве эталонного датчика, который не подвергается коррозии и обеспечивает термокомпенсацию, использовать элемент из той же стали, что и оборудование (рис. 1 б). Эталонный датчик наклеивали термопроводящим клеем снаружи на контролируемый участок оборудования и электрически изолирован от него. Предварительно проводили подготовку участка оборудования: приварку крепежных и контактных шпилек, монтаж эталонного датчика, кабелей. Монтаж шпилек проводили при помощи конденсаторной сварки, чтобы исключить влияние сварки на механические, физические и коррозионные свойства контролируемого оборудования. Монтажный участок термоизолировали от внешней среды, чтобы исключить влияние конвекционных потоков воздуха.

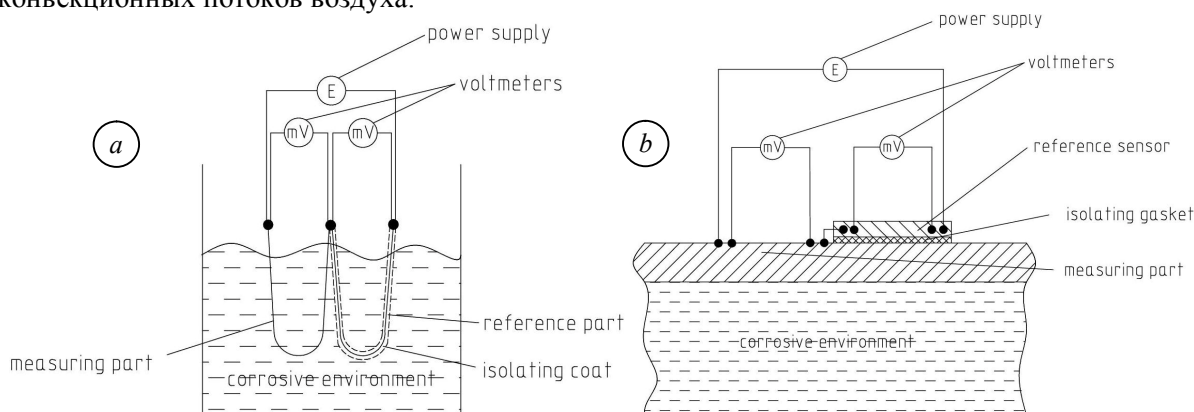


Рис. 1. Функциональные схемы: а – датчик коррозии; б – участок трубы.

Fig. 1. Functional scheme of a – corrosion sensor; b – pipe section.

Использование современной элементной базы и оригинальные идеи построения структуры системы [3] позволили предложить современную гибкую и надежную систему не только контроля скорости коррозии, но и определения остаточного ресурса оборудования в режиме реального времени.

Работа проводилась на стендовой циркуляционной установке (рис. 2), моделирующей систему горячего водоснабжения. Скорость потока поддерживалась насосом на уровне 280 л/ч (0,3 м/сек), что является средней скоростью подачи воды в квартиры. Температура среды поддерживалась электрическим подогревателем на уровне 40°C.

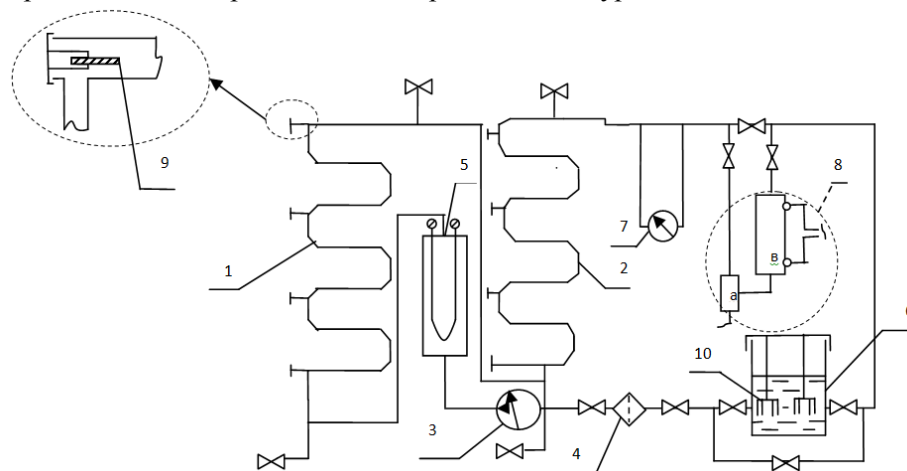


Рис. 2. Схема стендовой циркуляционной установки: 1, 2 – змеевики; 3 – насос; 4 – сетчатый фильтр; 5 – электрический нагреватель; 6 – емкость с исследуемой водой; 7 – ротаметр; 8 – система непрерывного контроля скорости коррозии: а – датчик, b – участок трубопровода; 9, 10 – образцы-свидетели.

Fig. 2. Scheme of the prototype circulation unit: 1, 2 – coils; 3 – pump; 4 – screen filter; 5 – electrical heater; 6 – water tank; 7 – rotameter; 8 – corrosion rate control system: a – sensor; b – pipe section; 9, 10 – surveillance specimens.

Образцы-свидетели изготовлены из стали Ст 3 в виде пластин размером 15×60×3 mm. Их устанавливали в змеевики установки, а также завешивались в открытую емкость, вследствие разной скорости потока в них. В емкость заливалась исследуемая вода, а также дозировались ингибиторы.

Датчик коррозии изготовлен из проволоки из стали 09Г2С диаметром 1,2 mm. Датчик вводили в установку через фланец и устанавливали параллельно потоку среды. Эталонный датчик изготовлен из сегмента трубы из Ст3 с внутренним диаметром 21 mm и толщиной 2,5 mm, размещен на отрезке такой же трубы длиной 450 mm и термоизолирован. Участок трубы являлся частью установки.

Система контроля скорости коррозии измеряла скорость коррозии датчика и передавала полученные значение на удаленную рабочую станцию (рис. 3). Показания системы фиксировались с экрана SCADA (рис. 4).

Было проведено три эксперимента:

- I – в артезианской воде со свободным доступом воздуха в течение 744 hours;
- II – в артезианской воде с добавкой фосфонатов со свободным доступом воздуха в течение 673 hours;
- III – в частично умягченной воде с дозировкой фосфонатов и Oxygen Scavenger агента на основе катализированного бисульфита натрия в течение 716 hours.

После окончания каждого эксперимента проводили гравиметрические измерения образцов-свидетелей и отрезка трубы. Перед началом и после окончания каждого эксперимента образцы-свидетели и отрезок трубы взвешивали.

По убыли массы определялась скорость коррозии K по формуле:

$$K = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}, \text{ g/m}^3 \cdot \text{h} \quad (1)$$

где m_1 – масса перед началом эксперимента, g;

m_2 – масса после эксперимента, g;

S – площадь, подверженная коррозии, m^2 ;

τ – время эксперимента.

Глубинный показатель коррозии связан со скоростью коррозии K следующим соотношением:

$$\Pi = \frac{8,76}{\rho} \cdot K, \text{ mm/year} \quad (2)$$

где $\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$ – плотность стали;

K – скорость коррозии, $\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$.

Гравиметрические данные сравнивали с интегральными данными, полученными системой.

Интегральные данные скорости коррозии отрезка трубы получали по изменению толщины трубы за время эксперимента:

$$\Pi = \frac{h_1 - h_2}{\tau} \cdot 8760, \text{ mm/year} \quad (3)$$

где h_1 – толщина трубы в начале эксперимента, mm;

h_2 – толщина трубы в конце эксперимента, mm;

τ – время, h;

8760 – количество часов в году.

В аккредитованной лаборатории ООО НИПИ «Водоочистные технологии» проводилось исследование физико-химических свойств воды, а также оценка коррозионно - накипных свойств воды (индекс Ланжелье).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Система непрерывно в течение всего времени фиксировала скорость коррозии датчика и отрезка трубы, а также изменение толщины стенки трубы и диаметра датчика (рис. 3).

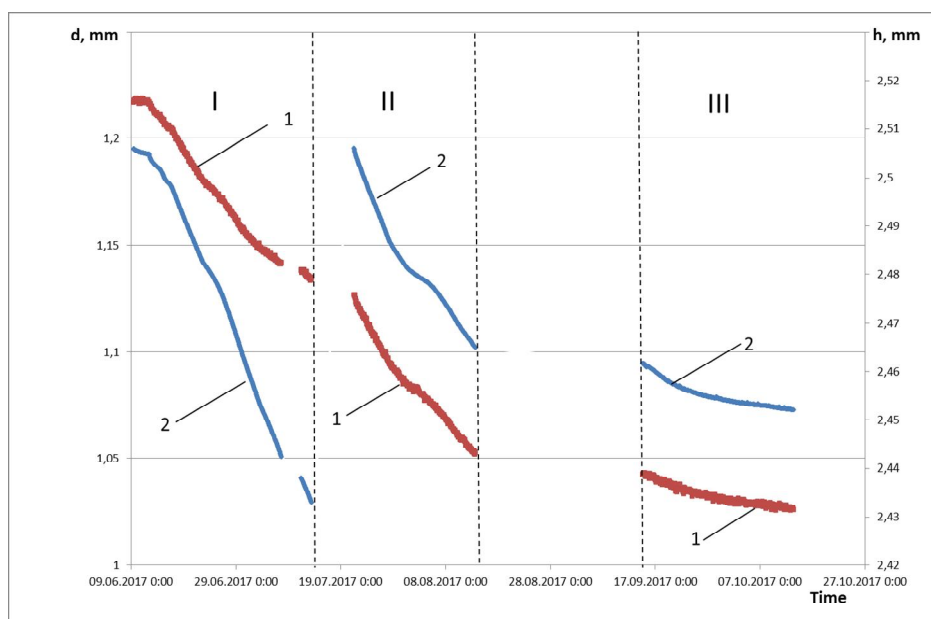


Рис. 3. Изменение во времени толщины стенки трубы h (1) и диаметра датчика d (2) во время испытаний в циркуляционной установке, скорость потока 0,3 м/с, температура 40°C.

Fig. 3. Change in time of the pipe wall thickness (1) and sensor diameter (2) during testing in circulation unit, flow rate 0,3 m/s, temperature 40°C.

Данные о скорости коррозии представлены в таблице.

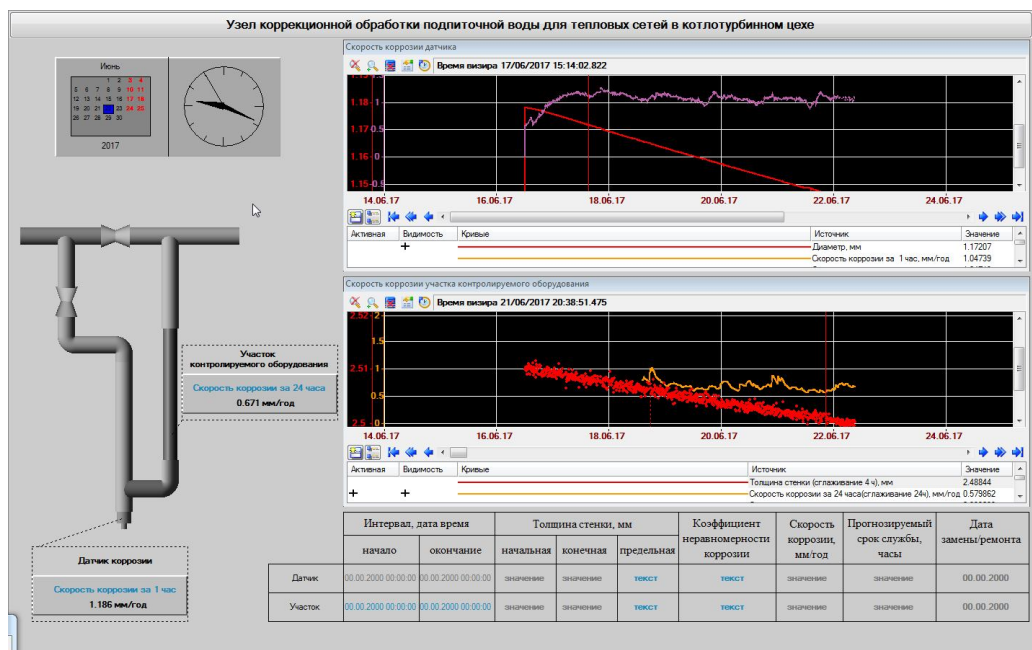


Рис. 4. Вид экрана SCADA.

Fig. 4. SCADA screen.

Таблица. Скорость коррозии (K) образцов стали в экспериментах

Table. Corrosion rate (K) of steel samples in tests

№ эксперимента	Время эксперимента	Скорость коррозии K, mm/year				
		Образцы-свидетели		СИКОРЕ		
		Емкость	Змеевик	Датчик	Участок трубы	
1	2	3	4	5	6	
I Индекс Ланжелье +0,62	72	0,26	0,23	0,85	0,54	
	240	0,29	0,47	1,018	0,57	
	504	0,27	0,57	0,7-1,3	0,52	
	744	0,24	0,44	1,105	0,5	
	Интегральные данные по окончании эксперимента					0,428
	Гравиметрические данные					0,434
II Индекс Ланжелье +1,14	72	0,19	0,2	1,16	0,72	
	240	0,32	0,52	0,64	0,35	
	504	0,27	0,50	0,5	0,38	
	673	0,28	0,47	0,65	0,42	
	Интегральные данные по окончании эксперимента					0,5
	Гравиметрические данные					0,54
III Индекс Ланжелье -1,1	116	-	0,32	0,34	0,15	
	212	-	0,29	0,29	0,17	
	456	-	0,20	0,2	0,12	
	716	0,05	0,14	0,14	0,1	
	Интегральные данные по окончании эксперимента					0,14
	Гравиметрические данные					0,12

В первых двух экспериментах скорость коррозии стали обусловлена поступлением кислорода к поверхности металла. Содержание кислорода в течение экспериментов изменялось в пределах 4,35...5,4 mg/dm³.

При сопоставлении полученных результатов по скорости коррозии стали необходимо принимать во внимание линейные размеры объектов исследования (диаметр проволоки датчика, толщину стенки отрезка трубопровода, размеры образцов-свидетелей), их расположение в установке и скорость движения воды.

Геометрические размеры и месторасположение оказывают непосредственное влияние на гидродинамику обтекания объектов исследования. Так, наибольшие значения скорости коррозии отмечаются на датчике. Это связано с более высокой скоростью потока на поверхности датчика. Кроме того, датчик быстрее откликается на изменение коррозионных свойств среды. В то же время, по нашему мнению, скорость коррозии участка трубы наиболее близка к скорости коррозии реального трубопровода, так как геометрические размеры участка трубы и скорость движения воды на его поверхности наиболее приближены к реальным условиям.

Наименьшая скорость коррозии в эксперименте I наблюдалась на образцах-свидетелях, завешенных в емкость для исследуемой воды, что обусловлено низкой скоростью движения воды в емкости (0,1 м/сек). Скорость движения воды в змеевике (0,3 м/сек) выше, что обеспечивает подвод к поверхности образцов-свидетелей, датчика и отрезка трубы окислителей, растворенных в воде, поэтому скорость коррозии этих объектов выше.

Необходимо отметить, что значения скорости коррозии стали, полученные по окончании эксперимента на участке трубы, сопоставимы со значениями, полученными на образцах-свидетелях, завешенных в змеевик. Скорость коррозии участка трубы в течение эксперимента мало изменялась и составляла 0,5...0,7 мм/г.

Интегральные значения скорости коррозии датчика и участка трубы совпадают и составляют ~0,42 мм/год.

С введением ингибитора коррозии в эксперименте II через 673 г данные по скорости коррозии образцов-свидетелей, завешенных в змеевик, скорость коррозии датчика и участка трубы выравниваются и составляют 0,47 м/год, 0,65 и 0,42 мм/год соответственно.

Интегральные значения скорости коррозии датчика и участка трубы совпадают и составляют ~0,5 мм/год.

В эксперименте III без подвода окислителя и в присутствии ингибитора коррозии скорость коррозии металла определяли уносом продуктов коррозии с поверхности металла. Поэтому, находясь в равных условиях, датчик и образцы-свидетели, завешенные в змеевик, показывали практически одинаковую скорость коррозии на протяжении всего эксперимента.

Скорость коррозии участка трубы на протяжении всего эксперимента мало изменяется и составляла 0,1...0,17 мм/год. Этот результат подтверждается данными о скорости коррозии участка трубы, полученными гравиметрическим методом по окончании эксперимента (0,12 мм/год).

ВЫВОДЫ

Система непрерывного контроля скорости коррозии позволяет достоверно измерять скорость коррозии углеродистой стали в условиях эксплуатации систем горячего водоснабжения и с высокой точностью определять остаточный ресурс оборудования.

Применение встроенного датчика позволяет осуществить непрерывный регулируемый ввод ингибитора коррозии для защиты систем горячего водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий В. С., Писчик Л.М. Коррозионный контроль технологического оборудования. – Киев: Наукова думка, 2001. – 42 с.
2. Система мониторинга скорости коррозии углеродистой стали в средах водооборотных циклов методом электрического сопротивления / Л.Ю. Довгалов, А.А. Анохин, Е.Ю. Ушакова, А.В. Ушакова, Б.Н. Шукайло, Н.А. Топорко // Вісник СНУ ім. В.І. Даля. – 2013. – № 13. – С. 194–200.
3. Система непрерывного измерения скорости коррозии технологического оборудования в условиях эксплуатации / Л.Ю. Довгалов, Д.А. Ковалев, А.В. Ушакова, Е.Ю. Ушакова, С.Н. Барыбин // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2016. – Спецвип. №11. – С. 292–296.