

*Леонид ДОВГАЛОВ, Даниил КОВАЛЕВ, Анна УШАКОВА,
Елена УШАКОВА, Сергей БАРЫБИН*

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ООО НТП «Экор»

*просп. Гвардейский 45-25, г. Северодонецк, Луганская обл. E-mail: ldovg@mail.ru
Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
просп. Советский 59 А, г. Северодонецк, 93400, Луганская обл.*

*Leonid DOVGALOV, Daniil KOVALOV, Anna USHAKOVA,
Elena USHAKOVA, Sergey BARYBIN*

THE SYSTEM FOR CONTINUOUS CORROSION RATE MEASURING OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT UNDER OPERATING CONDITIONS

LLC REE "Ekor"

*45-25, Gvardeyskiy Blv, Severodonetsk Lugansk Region., Ukraine. E-mail: ldovg@mail.ru
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
59 A, Soviet Avenue, Severodonetsk, 93400, Ukraine, Lugansk Region, Ukraine*

ABSTRACT

Continuous corrosion rate control of the technological equipment allows to solve a number of problems:

- the timely receipt of the corrosion processes development information and early corrosion damage prevention;
- the determination of a construction material suitability, assessment and prediction of its characteristics during the operation;
- the use of the corrosion monitoring as a part of the automated process control system.

We have previously developed the System for continuous corrosion rate monitoring using the high resolution electrical resistance method (High-Resolution ER).

This paper presents the System for continuous corrosion rate measuring, which allows to determine the environment corrosiveness in a real time mode and measure the equipment corrosion rate under operating conditions.

The system operation does not require the mechanical intervention in the controlled equipment.

The system consists of the sensors, the measuring part (corrosimeter) and the controller.

The corrosion rate controller manages the measurement process, performs a statistical data processing obtained from a measuring part, calculates the corrosion rate of given intervals, performs a data archiving and storage.

The System can operate both independently and as a part of the APCS (SCADA «Honeywell Experion», «Trace Mode» etc.). The interface is performed via RS-485 using the ModBus protocol.

The system is certified as a measuring tool of the corrosion rate, which is confirmed by the Certificate of metrological attestation. The random component of absolute error is $\pm 0,0014$ mm/year in the corrosion rate range from 0,01 to 150 mm/year.

The joint use of the corrosion rate measuring system and the system for collecting, processing, displaying and archiving of the data (SCADA) allows to calculate and predict the equipment residual life with a maximum reliability.

KEY WORDS: *corrosion control, corrosion rate, коррозионный контроль, датчик коррозии, коррозионная агрессивность среды, остаточный ресурс.*

Непрерывный контроль скорости коррозии промышленного оборудования позволяет решить ряд задач:

- своевременное получение данных о развитии коррозионных процессов и ранняя профилактика коррозионных разрушений;

- определение правильности выбора конструкционного материала, оценка и прогнозирование остаточного ресурса оборудования;
- контроль коррозионной активности среды и эффективности ингибитора;
- использование коррозионного мониторинга в качестве составляющей части автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Основной проблемой при определении остаточного ресурса работы оборудования является корректность измерения скорости коррозии оборудования в процессе его эксплуатации.

В настоящей работе представлена разработанная система непрерывного измерения скорости коррозии, которая позволяет автоматически в режиме реального времени оперативно определять коррозионную агрессивность среды и измерять скорость коррозии непосредственно оборудования в условиях эксплуатации, а также определять остаточный ресурс работы оборудования. Система обеспечивает подключение к современным SCADA большого количества точек контроля.

Работа системы непрерывного контроля скорости коррозии основана на методе электрического сопротивления высокого разрешения (High-Resolution ER) [1]. Метод электрического сопротивления основан на измерении электрического сопротивления образцов с известной геометрией [2], помещенных в агрессивную среду, и применяется для периодических или непрерывных измерений скорости коррозии в любых средах, в том числе в газообразных и неэлектропроводных жидкостях.

Датчик для измерения скорости коррозии состоит из двух частей – измерительной и эталонной. Эталонная часть изготовлена из того же материала и находится в тех же условиях, что и измерительная, но защищена покрытием от коррозионного воздействия среды. Эталонная часть необходима для компенсации влияния температуры на сопротивление металла.

Через эталонную и измерительную части пропускается одинаковый ток. Измеряется падение напряжения на обеих частях. Соотношение падения напряжения на измерительной и эталонной частях равно соотношению их сопротивлений. Соотношение не зависит от величины протекающего тока. При этом для исключения влияния на коррозионные процессы разность потенциалов на измерительной части составляет не более 20 мВ.

Конструктивно датчик представляет собой металлический корпус с фторопластовым сальниковым уплотнением, в котором уплотняются измерительная и эталонная части. Конструкция датчика выдерживает давление до 100 атм и температуру до 200°C.

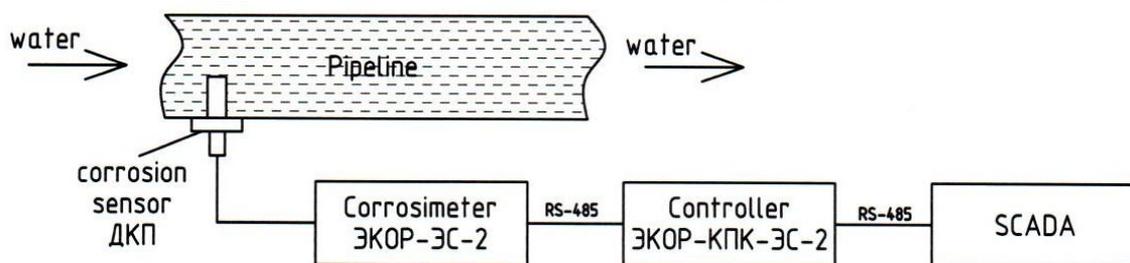


Рис. 1. Схема системы измерения скорости коррозии.

Fig. 1. Corrosion rate measuring system scheme.

Коррозиметр измеряет падение напряжения на измерительной и эталонной части. Измерение выполняется при помощи прецизионного 24-битного аналого-цифрового преобразователя. Коррозиметр также выполняет статистическую обработку полученных данных и передает их в контроллер скорости коррозии.

Контроллер вычисляет соотношение сопротивлений и рассчитывает изменение геометрических размеров измерительной части и скорость коррозии за различные промежутки времени (от 10 мин до 24 ч). Полученные данные передаются в SCADA.

Контроллер управляет процессом измерений, производит статистическую обработку полученных данных, осуществляет архивацию и хранение результатов. Имеется возможность передачи данных в Excel.

К коррозиметру и контроллеру можно подключить два датчика коррозии.

Управление процессом измерений предусматривает кратковременную подачу питания на датчик для выполнения измерений, а также замыкание с контролируемым объектом для обеспечения одинаковых условий протекания коррозионных процессов, в том числе в условиях электрохимической защиты.

Для определения метрологических характеристик была разработана и утверждена органами Госстандарта программа метрологической аттестации.

В процессе испытаний создавались условия для растворения рабочей части датчика с заданной скоростью. Результаты, полученные системой, сравнивались с результатами гравиметрических измерений.

Испытания показали высокие метрологические характеристики системы в широком диапазоне скоростей коррозии (от 0 до 150 мм/год).

Таблица 1. Результаты метрологической аттестации

Table 1. Metrological attestation results

Скорость коррозии Π , mm/year	Измеренная скорость коррозии Π_i , mm/year	Среднее значение измеренной скорости коррозии $\Pi_{ср}$, mm/year	Систематическая составляющая абсолютной погрешности Δ_c , mm/year	Случайная составляющая абсолютной погрешности $\Delta_{случ.}$, mm/year	Абсолютная погрешность измерения Δ , mm/year	Относительная погрешность измерения δ , %
9,02	10,30	10,23	1,21	0,07	1,28	14,14
	10,26					
	10,23					
	10,19					
	10,16					
0,971	1,0559	1,0575	0,0865	0,0014	0,0879	9,0504
	1,0569					
	1,0575					
	1,0581					
	1,0589					

Впервые создано средство измерения скорости коррозии, что подтверждено Аттестатом Госстандарта Украины.

Датчик коррозии изготавливается из материала контролируемого оборудования, находится в тех же условиях, обладает высокой чувствительностью, поэтому позволяет оперативно контролировать коррозионные процессы во время эксплуатации оборудования. Однако, поскольку датчик не является частью оборудования, такой контроль не является прямым методом контроля скорости коррозии оборудования. В связи с этим для максимально точного и достоверного прогнозирования остаточного ресурса оборудования нами была определена возможность непосредственного контроля скорости коррозии оборудования.

Для проведения испытаний в качестве оборудования была выбрана стандартная труба из углеродистой стали Ст3 Д_у20 с толщиной стенки 2,8 мм в состоянии поставки, по которой циркулировала водопроводная вода с температурой 35°C и скоростью потока 0,3 м/с. В трубе в потоке воды также размещался датчик коррозии. До и после испытаний труба взвешивалась.

Для определения скорости коррозии трубы через контролируемый участок трубы длиной 0,3 м пропускался ток, и измерялось падение напряжения. Этот же ток пропускался через эталонный участок, изготовленный из того же материала, что и труба, размещенный снаружи на поверхности трубопровода и имеющий ту же температуру. На эталонном участке также измерялось падение напряжения. Вычислялось соотношение сопротивлений контролируемого и эталонного участков, по которому рассчитывалась толщина стенки трубопровода, и по изменению толщины рассчитывалась скорость коррозии за различные промежутки времени.

Контролируемый участок трубы и датчик коррозии подключались к коррозиметру и контроллеру системы. Полученные данные передавались в SCADA (рис. 2).

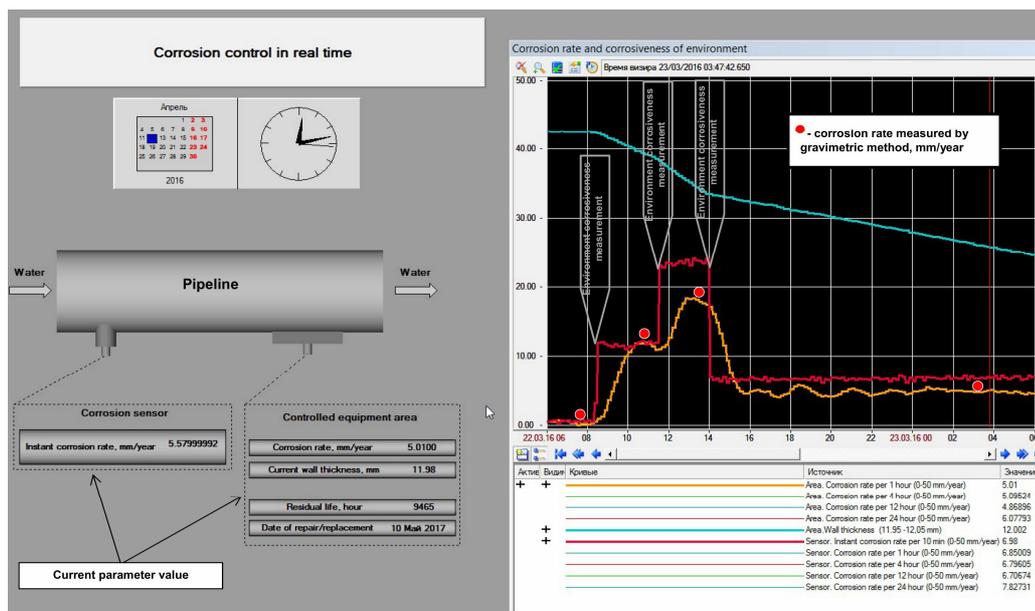


Рис. 2. Вид экрана SCADA.
Fig. 2. SCADA screen.

С помощью электрохимической поляризации задавались различные скорости коррозии трубы. Данные по скорости коррозии, полученные системой и определенные гравиметрическим методом, показали хорошую сходимость (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2. Результаты коррозионных испытаний трубы из углеродистой стали
Table 2. Corrosion tests results of the carbon steel pipe

№№ п/п	Условия	Скорость коррозии, mm/year	
		Система	Гравиметрический метод
1	Водопроводная вода, 35°C	4,54	4,6
2		13,8	11,5
3		0,68	0,62

Таким образом, показана возможность прямого измерения скорости коррозии объекта при помощи системы без нарушения его целостности.

Полученные данные о толщине стенки и скорости коррозии объекта использовались для автоматического определения остаточного ресурса оборудования.

Определение остаточного ресурса производилось по формуле:

$$\tau = \frac{h_1 - h_0}{v \cdot \alpha} \cdot 8760,$$

- где: τ – остаточный ресурс оборудования, ч;
 h_1 – текущая толщина стенки, мм;
 h_0 – предельная толщина стенки, ниже которой не обеспечивается прочность, мм;
 v – скорость коррозии, мм/год;
 α – коэффициент неоднородности коррозии;
8760 – количество часов в году, ч.

Система автоматически вычисляла остаточный ресурс оборудования и дату замены или ремонта оборудования.

Для подтверждения достоверности и точности прогноза были проведены испытания. В процессе испытаний выполнялось растворение с заданной скоростью коррозии стенки оборудования из углеродистой стали 08ХП толщиной 0,5 мм в воде с добавкой 3% NaCl.

Контроль скорости коррозии и толщины стенки выполнялся системой аналогично контролю участка трубы, описанному выше.

Остаточный ресурс определялся как время между началом испытаний и моментом разрушения стенки. Момент разрушения определялся визуально по протеканию раствора.

Одновременно система определяла скорость коррозии оборудования, остаточный ресурс работы, дату окончания эксплуатации. Данные испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний стенки оборудования из стали 08ХП в воде с добавкой 3% NaCl при растворении с заданной скоростью коррозии
Table 3. Test results of 08ХП steel equipment wall in the water with 3% NaCl addition at dissolution with a given corrosion rate

№№ пп	Скорость коррозии, mm/year	Начало опыта	Срок службы			
			Прогнозируемый системой		Фактический	
			дата	ресурс	дата	ресурс
1	600,0	1.04.16 г. 8-30	1.04.16 г. 11-50	3ч 20мин	1.04.16 г. 11-30	3 ч
2	125,0	1.04.16 г. 17-00	2.04.16 г. 9-00	16ч	2.04.16 г. 9-00	16 ч
3	68,0	4.04.16 г. 16-30	5.04.16 г. 21-50	29ч 20 мин	6.04.16 г. 0-30	32 ч

Таким образом, система позволила спрогнозировать остаточный ресурс оборудования и дату окончания эксплуатации с погрешностью порядка 10%.

ВЫВОДЫ

Система непрерывного измерения скорости коррозии позволяет в условиях эксплуатации количественно измерять скорость коррозии и оперативно контролировать коррозионные процессы в режиме реального времени с помощью датчиков при повышенных давлениях и температурах.

Система позволяет реализовать непрерывный прямой метод измерения толщины стенки и скорости коррозии оборудования без нарушения его целостности.

Система с высокой точностью определяет остаточный ресурс оборудования, а также с высокой достоверностью прогнозирует дату замены оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Довгалов Л.Ю., Анохин А.А., Ушакова Е.Ю., Ушакова А.В., Шукайло Б.Н., Топорко Н.А. Система мониторинга скорости коррозии углеродистой стали в средах водооборотных циклов методом электрического сопротивления // Вісник СНУ ім.В.І. Даля. – 2013. – № 13. – С. 194-200.
2. Новицкий В.С., Писчик Л.М. Коррозионный контроль технологического оборудования. – Киев: Вид. Наукова думка, 2001. – 172 с.