

УДК 620.197

DOI: 10.30838/P.CMM.2415.200418.207.31

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ В СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

УШАКОВА А. В.<sup>1</sup>ДОВГАЛОВ Л. Ю.<sup>2</sup>ЧУЧМАН М. Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО НТП «Экор», пр. Гвардейский 45-25, 93400, г. Северодонецк, Украина, тел. +38 (06452) 33192, e-mail avushak@gmail.com

<sup>2</sup> ООО НТП «Экор», пр. Гвардейский 45-25, 93400, г. Северодонецк, Украина, тел. +38 (06452) 33192, e-mail ntp.ekor@gmail.com

<sup>3</sup> отдел коррозионного растрескивания металлов, Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины, ул. Наукова 5, 79060, г. Львов, Украина, тел. +380969557151, e-mail marianx@i.ua

**Аннотация.** *Цель.* Определение возможности применения «Системы контроля скорости коррозии» для измерения скорости коррозии углеродистых сталей в сероводородсодержащих средах. *Методика.* Система контроля скорости коррозии основана на методе электрического сопротивления. В ходе исследований сравнивались данные, полученные системой контроля скорости коррозии с данными гравиметрических измерений. *Результаты.* Значения скорости коррозии, полученные двумя независимыми методами, показали хорошую сходимость. При этом относительная погрешность измерений скорости коррозии, полученных с помощью Системы, составила порядка 3,5 %. *Научная новизна.* Установлено, что электропроводные продукты сероводородной коррозии не влияют на измерение скорости коррозии методом электрического сопротивления. *Практическая значимость.* Система контроля скорости коррозии позволяет в режиме онлайн непрерывно и постоянно получать достоверные данные о величине скорости коррозии углеродистой стали в сероводородсодержащих средах.

*Ключевые слова:* сероводород; коррозия; датчик; электрическое сопротивление

## МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ У СЕРЕДОВИЩАХ, ЯКІ МІСТЯТЬ СІРКОВОДЕНЬ

УШАКОВА А. В.<sup>1</sup>ДОВГАЛОВ Л. Ю.<sup>2</sup>ЧУЧМАН М. Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ТОВ НТП «Екор», пр. Гвардійський 45-25, 93400, м. Северодонецьк, Україна, тел. +38 (06452) 33192, e-mail avushak@gmail.com

<sup>2</sup> ТОВ НТП «Екор», пр. Гвардійський 45-25, 93400, м. Северодонецьк, Україна, тел. +38 (06452) 33192, e-mail ntp.ekor@gmail.com

<sup>3</sup> відділ корозійного розтріскування металів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова 5, 79060, м. Львів, Україна, тел. +380969557151, e-mail marianx@i.ua

**Анотація.** *Мета.* Визначення можливості застосування Системи контролю швидкості корозії для вимірювання швидкості корозії вуглецевих сталей у середовищах, що містять сірководень. *Методика.* Система контролю швидкості корозії заснована на методі електричного опору. Під час досліджень порівнювались дані, отримані системою швидкості корозії з даними гравіметричних вимірювань. *Результати.* Значення швидкості корозії, отримані двома незалежними методами, показали гарну збіжність. При цьому відносна похибка вимірювань швидкості корозії, отриманих за допомогою системи, склала приблизно 3,5 %. *Наукова новизна.* Встановлено, що електропровідні продукти сірководневої корозії не впливають на вимірювання швидкості корозії методом електричного опору. *Практична значимість.* Система контролю швидкості корозії дозволяє у режимі онлайн безперервно та постійно отримувати достовірні дані про величину швидкості корозії вуглецевої сталі у середовищах, які містять сірководень.

*Ключові слова:* сірководень; корозія; датчик; електричний опір

## POSSIBILITY OF USING THE CORROSION RATE CONTROL SYSTEM FOR HYDROGEN SULPHIDE ENVIRONMENTS

USHAKOVA A. V.<sup>1</sup>  
DOVGALOV L. Y.<sup>2</sup>  
CHUCHMAN M. R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LLC REE “Ekor”, blv. Gvardeyskiy 45-25, 93400, Severodonetsk, Ukraine, +38 (06452) 33192, e-mail avushak@gmail.com

<sup>2</sup> LLC REE “Ekor”, blv. Gvardeyskiy 45-25, 93400, Severodonetsk, Ukraine, +38 (06452) 33192, e-mail ntp.ekor@gmail.com

<sup>3</sup> stress corrosion cracking department, Karpenko Physico-Mechanical Institute Of The NAS Of Ukraine, 5 Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine, +380969557151, e-mail marianx@i.ua

**Annotation. Purpose.** The determination of the possibility of using the Corrosion rate control system for corrosion rate measurement of carbon steels in hydrogen sulphide environments. **Methodology.** Corrosion rate monitoring system is based on the electrical resistance method. During the study the data, obtained with the System, was compared with the gravimetric measurement data. **Findings.** Corrosion rate values, obtained in two independent methods, showed the good convergence. The relative error of corrosion rate measurement by the System was about 3,5 %. **Originality.** It was found that conductive products of the hydrogen sulphide corrosion do not affect the corrosion rate measurement by electrical resistance method. **Practical value.** Corrosion rate control system allows to obtain on-line the reliable data about carbon steel corrosion rate in hydrogen sulphide environments continuously and constantly.

**Keywords:** hydrogen sulphide; corrosion; sensor; electrical resistance

### Введение

Эффективным способом оценки коррозионного состояния оборудования является коррозионный мониторинг - система наблюдений и прогнозирования коррозионного состояния объекта с целью получения своевременной информации о его возможных коррозионных отказах.

Наиболее распространенными методами коррозионного мониторинга являются гравиметрический метод, метод линейного поляризационного сопротивления и метод электрического сопротивления.

Известно, что продукты сероводородной коррозии (сульфиды железа) обладают проводимостью, поэтому определение скорости коррозии углеродистых сталей методом линейного поляризационного сопротивления (ЛПС) в сероводородных средах зачастую невозможно.

При образовании на электродах и межэлектродном пространстве токопроводящих осадков показания датчиков будут ошибочными. Признаком замыкания электродов является монотонное увеличение показаний прибора. В сероводородных средах рекомендуется применять датчики с защитой от замыкания токопроводящими осадками, конструкция которых предотвращает образование сплошного осадка между рабочими электродами [1].

Что касается определения скорости коррозии углеродистых сталей в сероводородных средах методом электрического сопротивления (ЭС), то в отдельных источниках имеется информация о влиянии сульфидов железа на результаты измерений скорости коррозии [2].

Принцип действия системы контроля скорости коррозии (в дальнейшем - Системы) основан на методе ЭС [3].

### Цель

Цель испытаний - определение возможности применения Системы в сероводородсодержащих средах для измерения скорости коррозии углеродистых сталей.

Для этого было выполнено сравнение данных о скорости коррозии, полученных с помощью Системы, с данными гравиметрических измерений.

Принцип работы Системы основан на методе электрического сопротивления высокого разрешения (High-Resolution ER), который заключается в прецизионном измерении диаметра либо толщины измерительной части датчика, находящейся в коррозионной среде, с учетом влияния температуры [4].

Система состоит из датчика коррозии ДКП, коррозиметра ЭКОР-ЭС-2М, контроллера процесса коррозии ЭКОР-КПК-ЭС-2, блока питания, GSM-модемов SPRUT M2M lite, рабочей станции (рис.1).

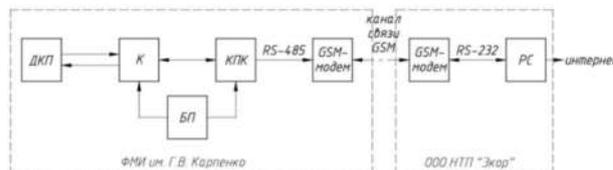
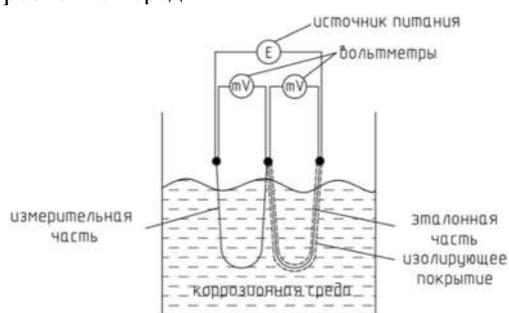


Рис.1. Блок-схема Системы контроля скорости коррозии: ДКП – датчик коррозии проволоочный, К – коррозиметр, КПК – контроллер процесса коррозии, БП – блок питания, РС – рабочая станция/Scheme of the corrosion rate control system: ДКП-wire corrosion sensor, К- corrossimeter, КПК- corrosion process controller, БП- power supply, РС- working station

Датчик коррозии состоит из измерительной и эталонной части (рис.2). Измерительная часть находится в контакте с коррозионной средой.

Эталонная часть изолирована от воздействия коррозионной среды.



*Рис.2. Функциональная схема измерения скорости коррозии методом электрического сопротивления при помощи датчика коррозии/Scheme of the corrosion rate measuring by electrical resistance method with the corrosion sensor*

Через измерительную и эталонную часть датчика пропускается одинаковый ток. При этом измеряется падение напряжения на измерительной и эталонной частях датчика и вычисляется соотношение. Соотношение падений напряжения равно соотношению сопротивлений.

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

Для исключения влияния на коррозионные процессы разность потенциалов между концами измерительной части составляет не более 20 мВ.

По соотношению рассчитывается диаметр либо толщина измерительной части датчика, а по изменению диаметра (толщины) во времени определяется скорость коррозии.

Коррозиметр измеряет падения напряжения на измерительной и эталонной части датчика, выполняет цифровую фильтрацию и передает данные в цифровом виде через RS-485 по протоколу ModBus для обработки в контроллер процесса коррозии.

Контроллер процесса коррозии управляет процессом измерений, выполняет статистическую обработку полученных данных, вычисляет соотношение сопротивлений и рассчитывает диаметр либо толщину измерительной части датчика и по изменению во времени диаметра (толщины) измерительной части датчика вычисляет скорость коррозии за заданные промежутки времени (за 10 мин, 1 ч, 4 ч, 12 ч, 24 ч).

Данные могут передаваться в цифровом виде через RS-485 по протоколу ModBus в системы SCADA для визуализации и хранения.

Данные (диаметр либо толщина, скорость коррозии за 1 ч и за 24 ч) за 100 суток сохраняются в энергонезависимой памяти контроллера и могут быть переданы в Microsoft Excel.

GSM- модемы осуществляют передачу данных из контроллера процесса коррозии по протоколу

Modbus с использованием каналов GSM-связи на удаленную рабочую станцию.

Рабочая станция осуществляет визуализацию и архивирование данных, полученных из контроллера процесса коррозии.

Внешний вид установки и части системы, расположенных на территории ФМИ им. Г.В.Карпенко, Львов, представлен на рис.3,4.

Рабочая станция находилась на территории ООО НТП «Экор», г.Северодонецк.



*Рис.3 Установка для проведения испытаний в сероводородсодержащих средах/Installation for tests in hydrogen sulphide environments*

Система контроля скорости коррозии (рис.4) измеряла скорость коррозии датчика и передавала полученные значение на удаленную рабочую станцию.



*Рис.4 Система контроля скорости коррозии, находящаяся на территории ФМИ им.Г.В.Карпенко/Corrosion rate control system located on the Karpenko Physico-Mechanical Institute*

Испытания проводились в течение 72 ч с 5 по 8 февраля 2018 г.

Датчик коррозии помещался в водный раствор 50 г/л NaCl, 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, насыщенный сероводородом (pH=3) при температуре 25°C и перемешивании. Периодически проводилось донасыщение раствора сероводородом.

Датчик коррозии изготовлен из проволоки из стали 09Г2С диаметром 0,56 мм и длиной 200 мм.

Площадь поверхности измерительной части, контактирующей с раствором, перед испытаниями составляла 3,3 см<sup>2</sup>, после испытаний - 2,4см<sup>2</sup>.

Для определения скорости коррозии гравиметрическим методом измерительная часть датчика предварительно зачищалась наждачной бумагой P2500 с размером зерна 3-5 мм, после чего обезжиривалась ацетоном, промывалась дистиллированной водой, высушивалась и взвешивалась на аналитических весах с точностью 0,0001 г.

После окончания испытаний продукты коррозии удалялись щеткой, затем измерительная часть промывалась дистиллированной водой, обезжиривалась ацетоном, высушивалась и взвешивалась на аналитических весах.

Для определения скорости коррозии гравиметрическим методом использовалось среднее значение площади – 2,85 см<sup>2</sup>.

Для определения скорости коррозии с помощью Системы использовалось среднее значение скорости коррозии за период испытаний. Для вычислений использовалась скорость коррозии, измеренная Системой в течение 1 часа (рис.6).

**Результаты испытаний**

Система непрерывно в течение всего времени испытаний фиксировала скорость коррозии датчика (рис.5-7).

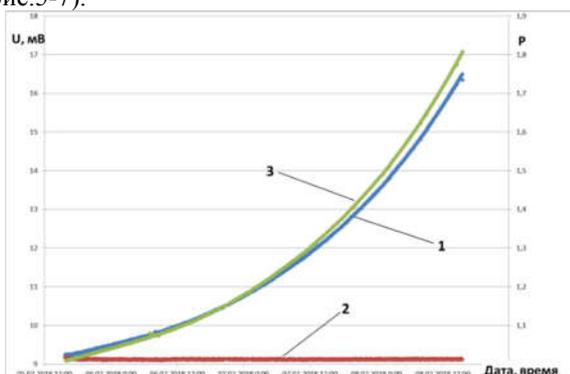


Рис. 5. Изменение во времени падения напряжения U на измерительной (1) и эталонной (2) части датчика коррозии, а также их соотношения P (3) в водном растворе 50 г/л NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, насыщенном сероводородом, 25°C, перемешивание/ Voltage drop change in time on measuring (1) and reference (2) sensor parts and its ratio P (3) in water solution 50 g/l NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, saturated with hydrogen sulphide, 25°C, agitation

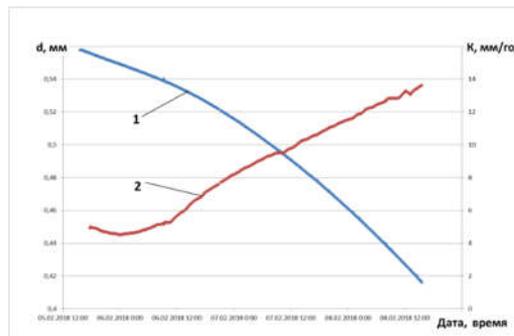


Рис. 6. Изменение диаметра d (1) и скорости коррозии K за 1 час (2) датчика коррозии в водном растворе 50 г/л NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, насыщенном сероводородом, 25°C, перемешивание/ Change of the diameter d (1) and the corrosion rate K (2) in one hour in water solution 50 g/l NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, saturated with hydrogen sulphide, 25°C, agitation

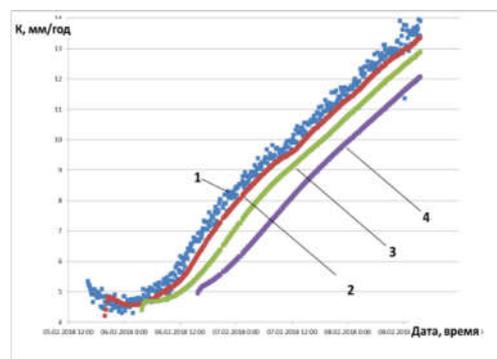


Рис. 7. Скорость коррозии датчика коррозии K, рассчитанная за различные промежутки времени (1- 10 мин; 2- 4 ч; 3- 12 ч; 4- 24 ч) в водном растворе 50 г/л NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, насыщенном сероводородом, 25°C, перемешивание/ Corrosion rate of the corrosion sensor, calculated for different time intervals (1- 10 min, 2- 4 hours, 3- 12 hours, 4- 24 hours) in water solution 50 g/l NaCl + 0,5% CH<sub>3</sub>COOH, saturated with hydrogen sulphide, 25°C, agitation

Датчик после испытаний был покрыт черным осадком, который был легко удален.

Средняя скорость коррозии K датчика, измеренная системой, составила 8,74 мм/год (Таблица 1).

Таблица 1

**Результаты измерения скорости коррозии, полученные системой/ Results of the corrosion rate measurement, obtained by the system**

№ пп	Скорость коррозии, измеренная системой, средняя за сутки, мм/год	Среднее значение скорости коррозии, мм/год
1	5,24811	8,74
2	9,03427	
3	12,24305	

Скорость коррозии датчика, измеренная гравиметрическим методом, составила 8,44 мм/год (Таблица 2).

Таблица 2

**Результаты гравиметрических измерений/  
Results of gravimetric measurements**

№№ пп	Масса до испытания $m_1$ , г	Масса после испытания $m_2$ , г	Убыль массы $\Delta m$ , г	Площадь поверхности $S$ , м <sup>2</sup>	Время испытания $\tau$ , ч	Скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> ч/ Скорость коррозии, мм/год
1	0,3980	0,2405	0,1575	$2,85 \cdot 10^{-4}$	72	7,67/ 8,44

Значения скорости коррозии, полученные двумя независимыми методами, показали хорошую

сходимость. При этом относительная погрешность измерений скорости коррозии, полученных с помощью Системы, составила порядка 3,5%.

### Выводы

Система контроля скорости коррозии позволяет в режиме онлайн непрерывно и постоянно получать достоверные данные о величине скорости коррозии углеродистой стали в сероводородсодержащих средах.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полатовская Д. С. Применение современных методов мониторинга коррозионных процессов промышленных трубопроводов / Д. С. Полатовская // Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива-2016», 15-25 апреля 2016 г., г. Красноярск. – 2016. – С. 30–33.
2. Абрамян А. А., Маняченко А. В., Ляшенко А. В. // Газ. пром-сть. – 1989. – №3. – С. 32–33.
3. Новицкий В. С. Коррозионный контроль технологического оборудования / В. С. Новицкий, Л. М. Писчик. – Киев : Наукова думка, 2001. – 42 с.
4. 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

### REFERENCES

1. Polatovskaya D. S. *Primenenie sovremennykh metodov monitoringa korrozionnykh protsessov promyslovyykh truboprovodov* [Application of modern corrosion monitoring methods for oilfield pipelines]. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Prospekt Svobodnyiy-2016», 15-25 april 2016., Krasnoyarsk, 2016, pp. 30–33. (in Russian).
2. Abramyan A. A., Manyachenko A. V., Lyashenko A. V. *Gaz. prom-st.* [Gas Industry], 1989, N3, pp. 32–33. (in Russian).
3. Novitskiy V. S. *Korroziyonnyy kontrol tehnologicheskogo oborudovaniya* [Corrosion control of the technological equipment] V. S. Novitskiy, L. M. Pischik., Kiev : Naukova dumka, 2001, 42 p. (in Russian).
4. Dovgalov L.Y., Anohin A.A., Ushakova E.Yu., Ushakova A.V., Shukaylo B.N., Toporko N.A. *Sistema monitoringa skorosti korrozii uglerodistoy stali v seredah vodooborotnih tsiklov metodom elektricheskogo soprotivleniya* [Corrosion rate monitoring system for carbon steel in water rotation cycle environments by electrical resistance method]. Visnik SNU Im. V.I. Dalya, 2013, N13, pp. 194-200. (in Russian).

*Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. В.І. Большаковим (Україна), д-ром. техн. наук, проф. Г.Д. Сухомліним (Україна)*