

Л. Ю. Довгалов, А. А. Анохин, Е. Ю. Ушакова, А. В. Ушакова,
Б. Н. Шукайло, Н. А. Топорко

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СКОРОСТИ КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В СРЕДАХ ВОДОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Использование системы в промышленных условиях позволит контролировать скорость коррозии конструкционных материалов наряду и во взаимосвязи с другими показателями технологического процесса.

Эффективным способом оценки коррозионного состояния оборудования (на стадиях его проектирования, эксплуатации, реновации) является коррозионный мониторинг - система наблюдений и прогнозирования.

При проектировании коррозионный мониторинг позволяет правильно выбрать конструкционные материалы с учетом их коррозионной стойкости в условиях эксплуатации.

При эксплуатации мониторинг позволяет наблюдать и прогнозировать состояние объекта с целью получения своевременной информации о его возможных отказах вследствие коррозии.

На сегодняшний день существует ряд методов [1], позволяющих произвести оценку интенсивности и определить характер коррозионных повреждений. На практике наибольшее распространение имеют весовой метод, метод линейного поляризационного сопротивления и метод электрического сопротивления.

Весовой метод имеет ряд недостатков – зависимость от методики проведения испытаний, длительность, трудоемкость, периодичность получения данных, погрешность измерений, обусловленная человеческим фактором.

Метод линейного поляризационного сопротивления - наиболее традиционный электрохимический метод коррозионного мониторинга. Однако этот метод в ряде случаев не позволяет получать достоверную информацию о скорости коррозии. Результаты измерений некорректны при образовании на поверхности металла защитной пленки, например, при введении ингибитора или при наличии в среде окислителей (восстановителей).

Метод электрического сопротивления основан на измерении электрического сопротивления образцов с известной геометрией, помещенных в агрессивную среду. Метод электрического сопротивления применяется для периодических или непрерывных измерений скорости коррозии. Метод дает усредненное значение скорости коррозии и его можно представить как автоматизированный метод весового анализа [2].

Преимущества метода электрического сопротивления:

- возможность автоматизации процесса непрерывной регистрации и анализа коррозионных данных во времени с применением большого количества датчиков на основе многоканальных систем;
- возможность измерений в любых условиях, в том числе в газообразных средах и неэлектропроводных жидкостях.
- высокая точность определения скорости коррозии.

Сопротивление R образца цилиндрической формы определяется по формуле:

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot s}, \text{ Ом}, \quad (1)$$

где: l - длина образца, м;
 σ - удельная электропроводность стали, См/м;
 s - площадь поперечного сечения образца, м².

При уменьшении поперечного сечения образца в результате коррозии сопротивление его повышается.

Скорость коррозии оценивают в мм/год и определяют по формуле:

$$K = \frac{\Delta d}{2\Delta t}, \quad (2)$$

где: K - скорость коррозии;
 $\Delta d = d_{изм1} - d_{изм2}$ - изменение диаметра образца за время Δt в результате коррозии, мм;
 2 - коэффициент, учитывающий коррозию проволоки с обеих сторон;
 Δt - время, за которое произошло изменение диаметра, год.

Нами была исследована возможность применения системы непрерывного мониторинга скорости коррозии углеродистой стали в средах водооборотных циклов методом электрического сопротивления.

Система мониторинга скорости коррозии методом электрического сопротивления состоит из:

- первичного преобразователя - датчика коррозии,
- коррозиметра «ЭКОР-ЭС-2»,
- программного обеспечения.

Датчик коррозии состоит из двух частей – измерительной и эталонной (рис. 1). Каждая из частей представляет собой проволоку из углеродистой стали Ст3 длиной 7 -15 см и диаметром 0,036 - 0,08 см. Эталонная проволока находится в тех же условиях, что и измерительная, но защищена покрытием от коррозионного воздействия среды. Эталонная проволока необходима для компенсации влияния температуры на сопротивление стали.

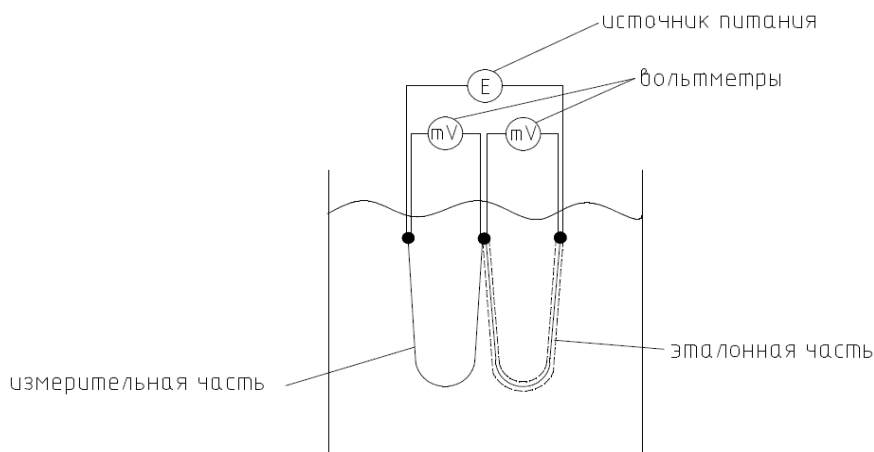


Рис. 1. Функциональная схема измерения скорости коррозии методом электрического сопротивления

Через эталонную и измерительную часть пропускается одинаковый ток. Измеряется падение напряжения на обеих частях. При этом для исключения влияния на коррозионные процессы разность потенциалов между концами измерительной проволоки составляет не более 20 мВ.

Соотношение падения напряжения на концах измерительной и эталонной частей равно соотношению сопротивлений измерительной и эталонной частей. По этому соотношению рассчитывается изменение диаметра и скорость коррозии.

Коррозиметр «ЭКОР-ЭС-2» выполняет преобразование и передачу сигналов от датчика коррозии в компьютер через последовательный порт (RS-485), производит программную фильтрацию сигнала (удаление шумов).

Программное обеспечение осуществляет обработку полученных данных, их визуализацию на графическом и текстовом экранах и архивацию данных в файл. Возможен просмотр данных, полученных за сутки и за месяц. Пользователь имеет возможность изменения масштаба графиков и режима обработки данных.

Испытания в лабораторных условиях проведены в 3%-ном водном растворе хлорида натрия при температуре 25°C. Результаты испытаний представлены на рис.2, 3, 4, 5, 6.

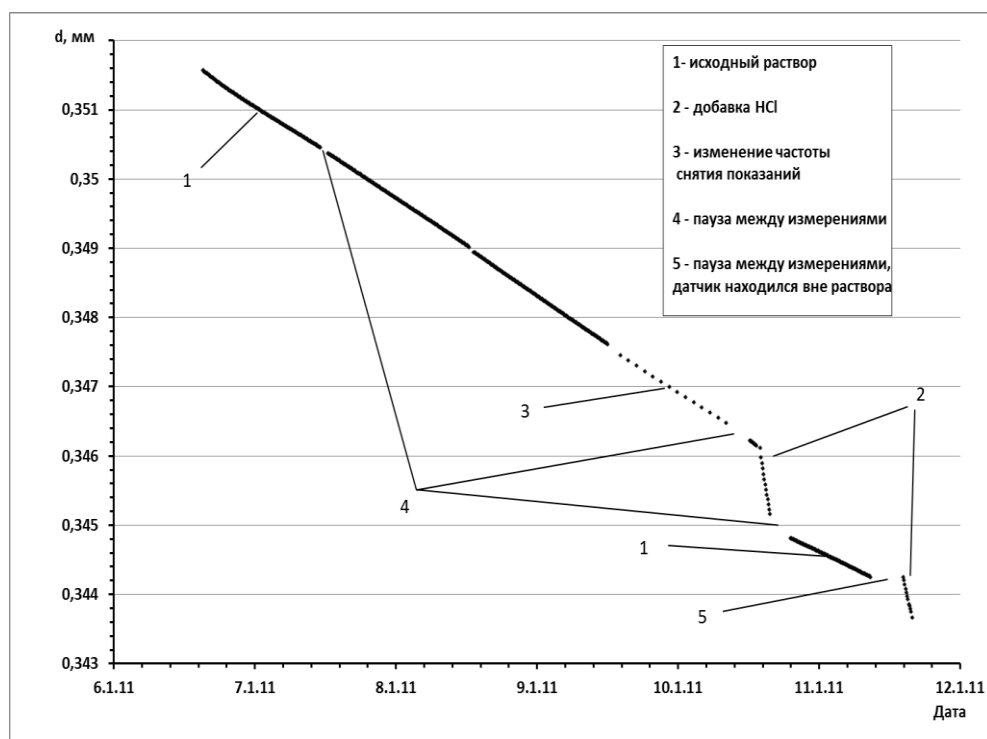


Рис. 2. Изменение диаметра проволоки из Ст3 при испытаниях в 3%-ном растворе NaCl с добавками HCl при 25°C

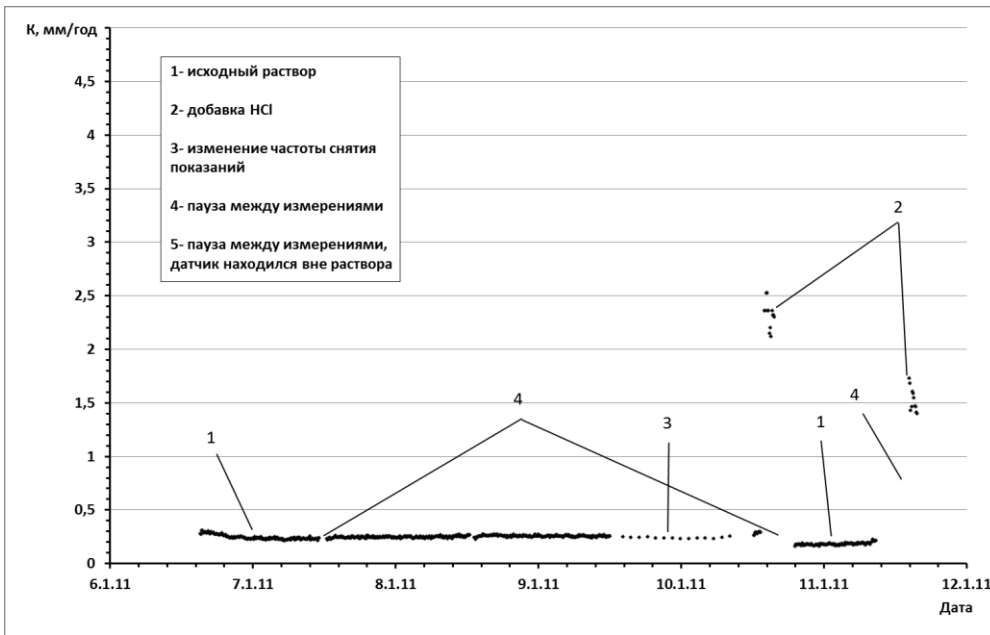


Рис. 3. Скорость коррозии проволоки из Ст3 при испытаниях в 3%-ном растворе NaCl с добавками HCl при 25°C

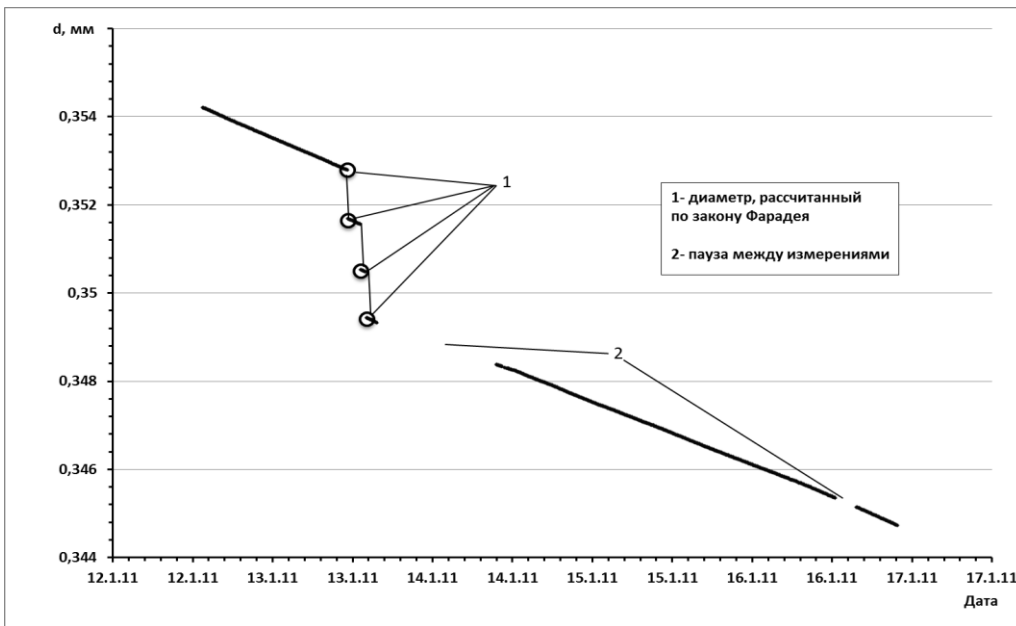


Рис. 4. Изменение диаметра проволоки из Ст3 при испытаниях в 3%-ном растворе NaCl при анодном растворении при 25°C

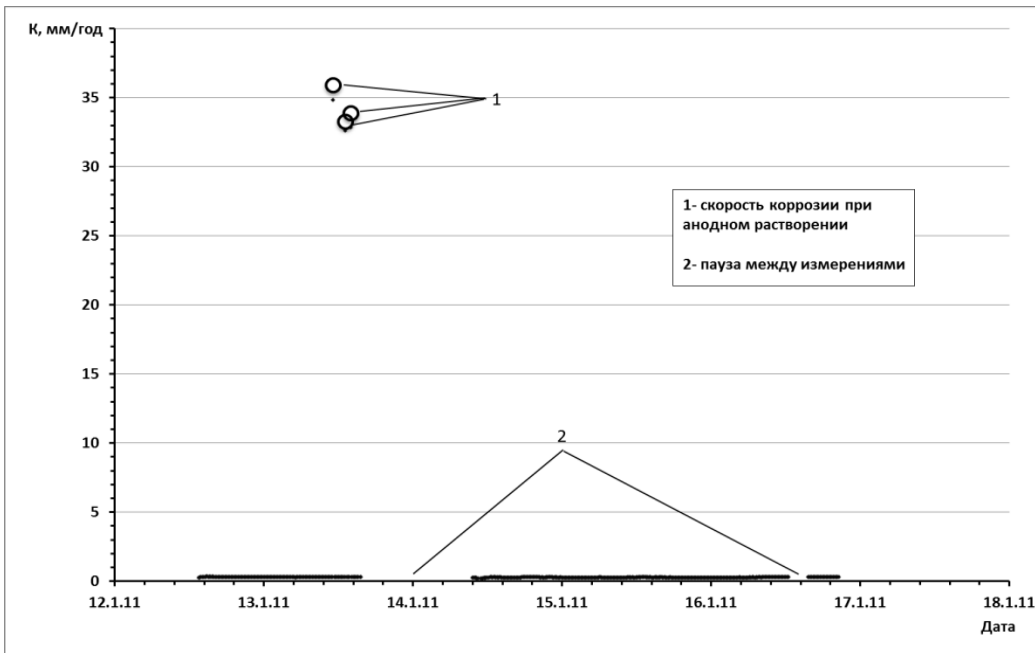


Рис. 5. Скорость коррозии проволоки из Ст3 при испытаниях в 3%-ном растворе NaCl, в т.ч. при анодном растворении при 25°C. Масштаб скорости коррозии 0-40 мм/год

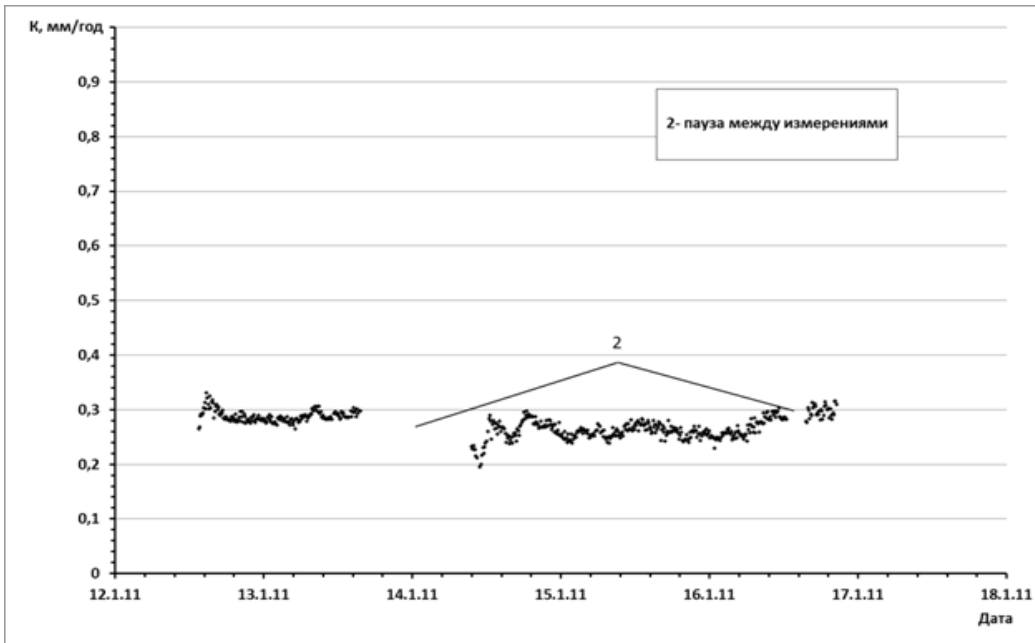


Рис. 6. Скорость коррозии проволоки из Ст3 при испытаниях в 3%-ном растворе NaCl при анодном растворении при 25°C. Масштаб скорости коррозии 0 – 1 мм/год

Скорость коррозии фиксировалась в диапазоне от 0,2 до 40,0 мм/год.

Случайная составляющая погрешности измерений при измерениях в 3%-ном водном растворе NaCl при скорости коррозии около 0,2 мм/год составляла:

- при времени цикла измерений 500 с - $\pm 0,1$ мм/год;

- при времени цикла измерений 5000 с - $\pm 0,01$ мм/год.

С целью определения влияния различных факторов на результат измерений изменяли:

- электропроводность раствора (до 10 раз);
- температуру раствора (до 30°C);
- температуру окружающего воздуха (до 10°C).

Испытания показали, что эти факторы влияют на результаты испытаний на уровне, не превышающем случайную составляющую погрешность.

Для проверки корректности применяемого метода в процессе испытаний выполнялось контролируемое растворение измерительной проволоки при ее анодной поляризации и сравнение изменения диаметра и скорости коррозии, измеренных системой и рассчитанных по убыли массы (по закону Фарадея). Результаты параллельных измерений скорости коррозии показали хорошую сходимость (табл.1, рис.4, 5, 6).

Таблица 1

Изменение диаметра проволоки и скорость коррозии при анодном растворении, измеренные системой и рассчитанные по закону Фарадея

№№ пп	Кол-во электричества, пропущенного через раствор, Кл	Диаметр проволоки после анодного растворения, мм		Скорость коррозии, мм/год	
		измер. системой	рассчит. по закону Фарадея	измер. системой	рассчит. по закону Фарадея
1.	0	0,352787	-	-	-
2.	3,55	0,351682	0,351649	34,84	35,88
3.	3,28	0,350526	0,350504	32,58	33,28
4.	3,33	0,349438	0,349406	32,84	33,86

Проведены испытания системы мониторинга на установке, моделирующей водооборотный цикл. Испытания выполнялись в Na-катионированной воде, а также в воде с добавками ингибитора, в течение 100-120 ч при температуре 40° С и скорости потока 1,1 м/с (табл. 2, рис. 7). Скорость коррозии контролировалась весовым методом при помощи контрольных образцов, изготовленных из той же проволоки, что и датчик коррозии.

Таблица 2

Скорость коррозии углеродистой стали Ст3 в период испытаний

№№ пп	Среда	Скорость коррозии К, мм/год	
		измеренная системой	контрольный образец
1	Na-катионированная вода	2,14	1,91
		2,57	2,4
		1,83	1,4
2	Вода + 25 мг/л цинковой соли НТМФ	0,04	0,03

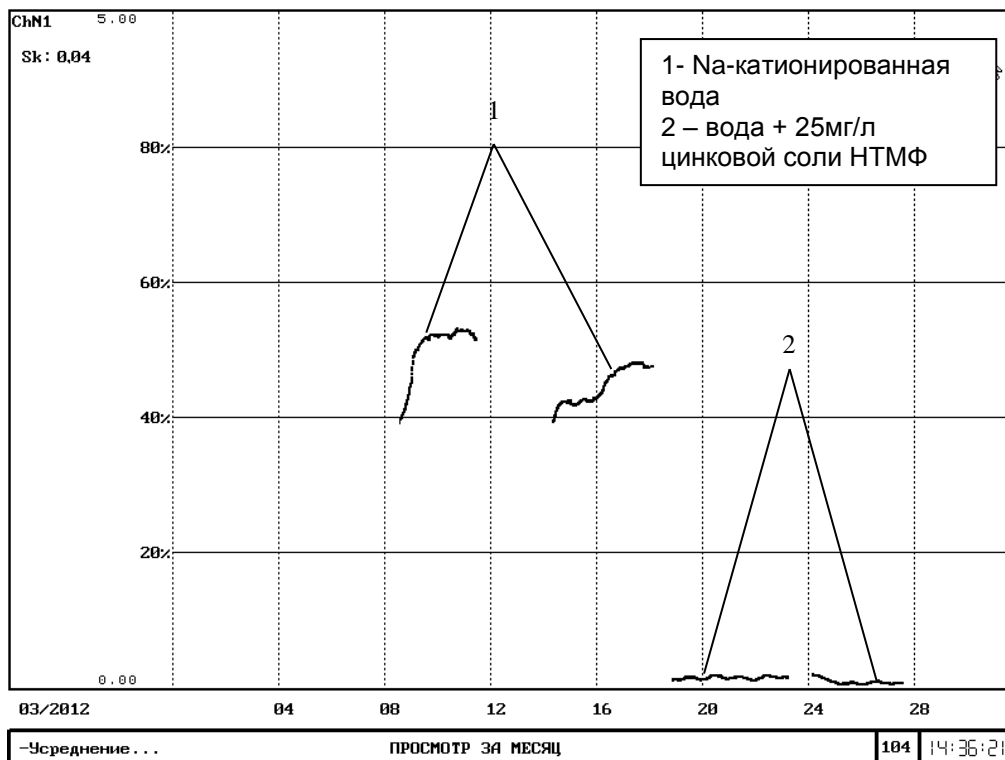


Рис.7 Скорость коррозии, измеренная системой в период испытаний. Вид экрана программы в режиме просмотра за месяц

Система мониторинга скорости коррозии методом электрического сопротивления позволяет в модельных средах в масштабе реального времени осуществлять мониторинг скорости коррозии в диапазоне от 0,01 до 50,0 мм/год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий В. С. Коррозионный контроль технологического оборудования / В. С. Новицкий, Л. М. Писчик. - Киев : Наук. думка, 2001.
2. Цинман А. Возможность применения метода линейного поляризационного сопротивления для контроля скорости коррозии в системе этаноламин-углекислый газ-сероводород / Цинман А. И., Данилин В. Н., Смолка Р. В. // Физико-химический анализ многокомпонентных систем (электронный научно-технический журнал fh.kubstu/fams/). – 2007. - Вып. 5.