

УДК 620.[193+197.3]:621.643.053

В.А. Блохин<sup>1</sup>, e-mail: akkord@sonar.penza.com.ru; А.Ю. Доросинский<sup>1</sup>; А.К. Манжосов<sup>1</sup>; А.Н. Маркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Научно-производственное предприятие «Сонар» (Пенза, Россия).

<sup>2</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» в г. Нижневартовске (Нижневартовск, Россия).

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В статье представлены результаты разработок промысловых приборов для решения практических задач, возникающих в добывающих компаниях в связи с проблемой несоответствия прогнозов коррозионной опасности, основанных на данных систем коррозионного мониторинга и результатах лабораторных исследований параметров агрессивности проб транспортируемой среды, и реальной ситуации. Приведен анализ современных средств мониторинга внутренней коррозии трубопроводов и технологического оборудования. Предложен новый термин «сканер коррозии». Описаны принципы действия как традиционных, так и разработанных авторами статьи методов и систем коррозионного мониторинга с точки зрения возможности измерения параметров локальной коррозии и оценки эффективности применяемых ингибиторов. Представлены результаты лабораторных исследований. Проанализированы результаты мониторинга коррозионной обстановки в промысловых условиях с помощью гравиметрических кассет в ракурсе наблюдения за локальной коррозией. В лабораторных условиях смоделирован казус-фактор, когда при штатной работе системы ингибирования и хороших показаниях приборов неожиданно происходит порыв трубопровода.

**Ключевые слова:** локальная коррозия, ручейковая коррозия, среднеповерхностная коррозия, ингибитор, сканер, коррозионный мониторинг, порыв трубопровода, скорость коррозии.

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ изменений номенклатуры средств мониторинга коррозии внутренних поверхностей трубопроводов и технологического оборудования объектов нефтегазодобычи позволяет выявить следующие тренды повышения достоверности результатов измерений параметров, описывающих коррозионные процессы:

- увеличение номенклатуры цифровых приборов, работающих

в реальном времени, и создание на их основе распределенных систем коррозионного мониторинга;

- повышение чувствительности/разрешающей способности приборов;
- расширение числа измеряемых параметров, характеризующих степень агрессивности транспортируемой среды.

В то же время, несмотря на эти позитивные тенденции, актуальной остается проблема несоответствия

прогноза, основанного на данных систем коррозионного мониторинга и результатах лабораторных исследований, реальному состоянию объектов газотранспортной системы, следствием чего подчас становятся аварийные ситуации. Причем зачастую порывы возникают «неожиданно» в непредсказуемых местах, в том числе в непосредственной близости к узлам контроля, показывающим благоприятную коррозионную обстановку.

Таблица 1. Характеристики методов и систем коррозионного мониторинга в ракурсе возможности измерения скорости локальной коррозии

Характеристики	Метод								
	Весовой	Ультразвуковой	FSM (сигнатуры поля)	ER* (высокого разрешения)	LPR (последнего поколения)	NanoCoat	Электронный аналог гравиметрической кассеты (ER-сканер)	Система детектирования ручейковой коррозии	Сканер локальной коррозии (SLC)
Разрешающая способность/чувствительность	–	2,5 мкм	0,1 мкм	0,001 мкм	–	–	0,001 мкм	0,001 мкм	–
	0,005 мм/год	–	–	–	0,005 мкм/год	0,02 мкм/год	–	–	0,005 мкм/год
Время измерения	Недели/месяцы	От 5 сут до 3 недель	Часы/сутки	Минуты	Минуты	Минуты	Минуты	Минуты	Минуты
Оценка скорости локальной коррозии	Да** (в месте установки)	Да (в месте установки)	Да (в месте установки)	Нет	Нет	Да (в месте установки)	Да (в месте установки)	Да	Да
Контроль параметров агрессивности среды***	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да
Сканирование фактических коррозионных проявлений по сечению потока	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да
Сканирование параметров агрессивности среды по сечению потока	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Возможность верификации результатов измерений****	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да

\* Одиночный датчик.

\*\* При использовании оптических методов и профилометрии.

\*\*\* Параметры, характеризующие потенциальную коррозионную опасность, которая может проявиться в любой точке трубопровода.

\*\*\*\* Под верификацией понимается формирование результатов измерений на основе не менее чем двух различных методов, реализованных в рамках одного устройства.

Данная ситуация обусловлена такими недоработками при реализации проектов коррозионного мониторинга и ингибиторной защиты, как:

1) недостаточное внимание к проявлению локальной коррозии. Известно, что внутренняя коррозия промышленных трубопроводов протекает по электрохимическому механизму, характер которого зависит от большого числа параметров, и проявления коррозии выглядят как случайный процесс [1, 2]. Углекислотная и сероводородная коррозия стали характеризуется не только равномерным износом рабочей поверхности (общая коррозия), но и ярко выраженными локальными коррозионными повреждениями в виде язв и питтингов, которые приводят к порывам трубопроводов и авариям, обуславливающим выход из

строения технологического оборудования. Зафиксированы случаи, когда процессы развития локальной коррозии были спровоцированы применением ряда ингибиторов [3, 4]. Таким образом, скорость развития локальной коррозии может на порядок и более превосходить скорость развития равномерной коррозии, которую регистрируют применяемые на практике технические средства мониторинга, не позволяющие сформировать объективную картину развития коррозионной опасности в реальных условиях эксплуатации оборудования;

2) неадекватный выбор типа и режима подачи ингибитора коррозии без проведения лабораторных исследований на способность подавления локальной коррозии, а также в отсутствие комплексного (общая/локальная коррозия) контроля

эффективности работы ингибитора в промышленных условиях;

3) некорректное применение технических средств контроля, ошибки в обработке и интерпретации результатов измерений.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ И СИСТЕМ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ

В табл. 1 представлены потенциальные возможности оборудования, реализующего различные методы анализа коррозионной обстановки.

*Гравиметрический (весовой) метод*  
Этот метод получил самое широкое распространение на практике. С его помощью можно получить

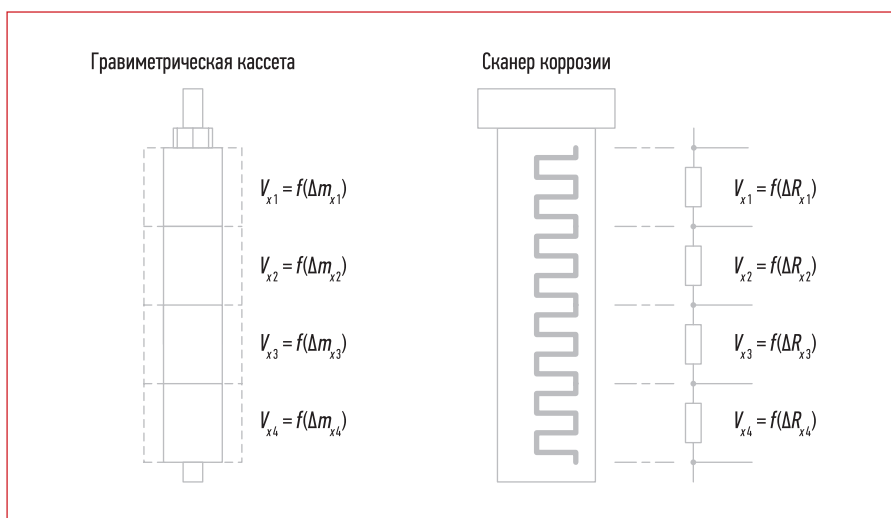


Рис. 1. Принципы работы гравиметрической кассеты и ее электронного аналога:

$V_{xi}$  – скорость коррозии, мм/год;  $\Delta m_{xi}$  – потеря массы образца-свидетеля, г;  $\Delta R_{xi}$  – изменение сопротивления секции ER-зонда, Ом;  $f$  – функция

информацию о локальной (неравномерной) коррозии. Наиболее достоверные оценки возможны при использовании наборов образцов – свидетелей коррозии из дисков, шайб, плоских образцов, объединенных в зонд. Недостатки этого способа хорошо известны: потеря информации между измерениями, отсутствие возможности сбора и обработки информации в реальном времени, трудоемкость получения измерительной информации, возможность искажения результатов измерений за счет человеческого фактора.

#### Ультразвуковой метод

Данный метод является разновидностью дефектоскопии. В этом случае регистрируют имеющиеся коррозионные изменения на поздних стадиях процесса. Результаты измерения скорости неравномерной (локальной) коррозии зависят от места установки подобных датчиков, причем необязательно будет выбрано место худшего случая проявления локальной коррозии.

#### FSM-технология, или метод сигнатуры поля

Технология является полным аналогом метода электрического

сопротивления (ER-метода), реализованным не интрузивным способом: в качестве чувствительного элемента используется тело трубы, съем информации осуществляется с матрицы электродов, приваренных к внешней поверхности трубопровода. Сложность монтажа матрицы должна компенсироваться длительным сроком ее службы. FSM-технология является эффективным техническим решением для контроля коррозии сварных швов и эрозионного износа внутренних поверхностей трубопроводов в местах их изгибов. В то же время FSM-технология характеризуется на два порядка более низкой чувствительностью в сравнении с традиционным ER-методом, поскольку в FSM-технологии в качестве первичного датчика для измерительного тракта используется стенка трубы, а оценка скорости локальной коррозии возможна только в месте установки матрицы.

#### LPR-технология

Технология основана на непосредственном взаимодействии приборов с транспортируемой средой и оценке ее агрессивности косвенным методом. На достоверность измерений влияет выбор оператором коэффициентов Тафеля на основе эмпирических лабораторных данных. Модифицированные LPR-приборы, с каналом электрохимического шума, позволяют оценить величину локальной коррозии с помощью питтинговых индексов, однако индексы не привязаны к скорости локальной коррозии, и такая качественная оценка не дает представления о том, насколько велика опасность локальной коррозии в численном выражении.

#### NanoCorr

Технология предполагает измерение параметров токов коррозии. На основе результатов измерений формируются оценки скорости общей и локальной коррозии. Декларируемая чувствительность должна обеспечивать раннее обна-

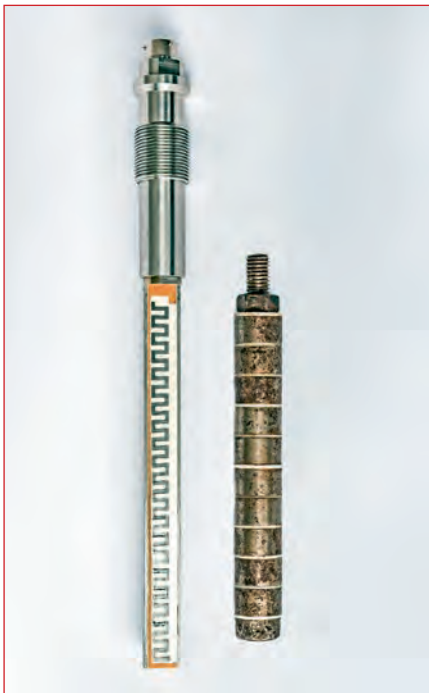


Рис. 2. Зонд электронного аналога гравиметрической кассеты и гравиметрическая кассета с проявлениями локальной коррозии

ружение очагов зарождающейся коррозии, но описание практического применения этой технологии в промышленных условиях в открытом доступе отсутствует. На основе анализа рекламных материалов можно сделать выводы о критичности измерений скорости коррозии в зависимости от места установки зондов и структуры транспортируемой среды.

**ER-сканер**

Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость внедрения в практику понятия «сканер коррозии». Под данным понятием понимается датчик для промышленных условий эксплуатации, зонды которого непосредственно контактируют с транспортируемой средой и осуществляют во внутритрубном пространстве поиск как максимально возможных фактических проявлений коррозии прямым методом, так и максимального коррозионного «потенциала» (агрессивности) среды, оцененного косвенными методами. Цель создания такого сканера – повышение

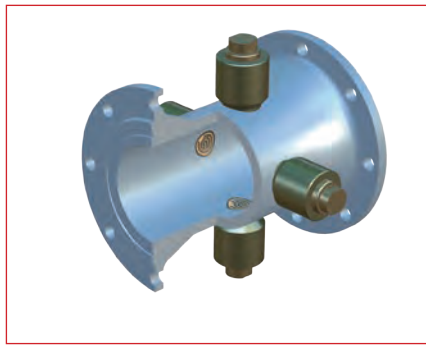


Рис. 3. Реализация электронного аналога гравиметрической кассеты с зондами заподлицо в виде катушки

эффективности технологий ингибирования трубопроводов за счет использования данных о максимально возможной коррозионной опасности, получаемых в реальном времени на основе верифицированных оценок скорости общей и локальной коррозии независимо от места установки сканера и структуры транспортируемой среды.

Первым практическим шагом к построению сканеров явилось создание электронного аналога гравиметрической кассеты (ER-сканера). Теоретические аспекты доказательства идентичности гравиметрического и ER-методов оценки скорости коррозии приведены в [4]. Там же сформулированы условия корректного сравнения результатов измерений, полученных этими методами. Принцип работы сканера (рис. 1) заключается в том, что вычисление скорости коррозии

$v_{xi}$ , мм/год, по потере массы  $\Delta m_{xi}$ , г, образца-свидетеля с номером  $i$  в случае использования гравиметрической кассеты эквивалентно вычислению скорости коррозии  $v_{xi}$  по изменению сопротивления  $\Delta R_{xi}$ , Ом, секции ER-зонда.

Очевидным преимуществом такого способа измерений является регистрация результатов прямого воздействия среды на зонды приборов, чувствительные элементы которых выполнены из стали, используемой в контролируемом трубопроводе. На рис. 2 представлено фото ER-сканера, реализованного на основе четырехканального ER-коррозиметра [5].

За счет вертикального расположения по диаметру трубы с помощью такого зонда происходит сканирование сечения транспортируемой среды, что делает этот сканер инвариантным к изменяющейся гидродинамике и структуре контролируемого потока.

Сканирование сечения потока за счет высокой чувствительности прибора (разрешающая способность – 1 нм) позволяет зафиксировать как коррозионно-эрозионные воздействия на зонд на начальных стадиях коррозионного процесса, так и максимальные фактические коррозионные проявления независимо от структуры потока. Применение статистически достоверных алгоритмов выделения полезных сигналов из шума в сочетании с межканальной обработкой ин-

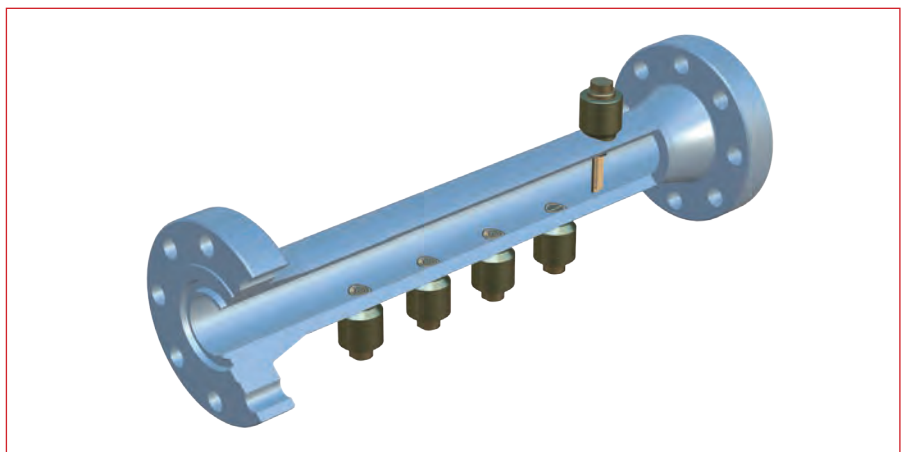


Рис. 4. Система детектирования ручейковой коррозии

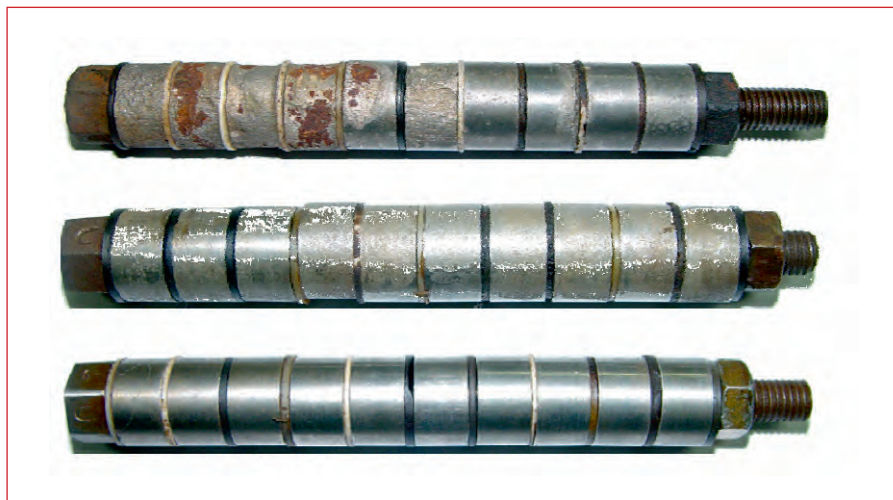


Рис. 5. Гравиметрические кассеты с равномерной, слабо проявленной и ярко выраженной локальной коррозией

формации позволило разработать алгоритмы формирования коррозионных градиентов, по которым отслеживается текущая структура потока с точки зрения коррозионно-эрозионной опасности и через их первые производные по времени вычислить скорость локальной коррозии.

Вариант ER-сканера, использующий зонды заподлицо с почасовым расположением по образующей трубопровода, представлен на рис. 3.

#### Система детектирования ручейковой коррозии

Как показано в [4], процесс углекислотной коррозии – пример многомерных нестационарных случайных процессов. Поэтому для повышения достоверности результатов измерения параметров коррозионных процессов необходимо перейти от одномерных оценок к многомерным. Такой подход согласуется с рекомендациями NACE и дает возможность наблюдателю видеть дополнительные параметры многомерного процесса углекислотной коррозии. Расширить число контролируемых параметров среды можно за счет как пространственного разнесения датчиков коррозии, так и организации синхронных измерений приборами, работающими на осно-

ве различных физических принципов в режиме реального времени. В качестве практического применения предложенного подхода была разработана система детектирования ручейковой коррозии (рис. 4).

Система разрабатывалась для работы в газовых средах, для которых характерны ручейковое и кольцевое, в т. ч. в виде тонкой пленки, течение агрессивного газового конденсата. Основная задача системы – осуществить достоверное раннее обнаружение момента начала процесса ручейковой коррозии и отдать команду ингибировать трубопровод. Дальнейшая работа системы направлена на удержание процессов общей и локальной коррозии в заданном диапазоне за счет управления процессами ингибирования. С ее помощью производится оценка эффективности работы применяемого ингибитора и режимов его подачи как по общей, так и по локальной коррозии на основе данных, полученных двумя методами измерений – прямым (ER) и косвенным (LPR).

Идея подхода заключается в следующем [6–9]. В одной точке трубопровода в непосредственной близости друг от друга устанавливаются:

- три канала ER-сканера с зондами заподлицо, контролирующими нижнюю образующую трубопровода;

- один канал ER-сканера с плоским зондом в центральной части трубопровода (для контроля газовой фазы);

- зонд LPR-датчика в нижней образующей трубопровода заподлицо. Конструктивные особенности LPR-датчика обеспечивают высокую разрешающую способность и возможность работы в слабопроводящих агрессивных средах в виде пленок. При отсутствии конденсата в нижней образующей трубопровода показания всех каналов ER-сканера близки, а показания LPR-прибора регистрируют нулевую скорость коррозии (в силу отсутствия водной фазы, которая и является фактором, запускающим механизм локальной коррозии). Показания LPR-датчика, отличные от нуля, будут свидетельствовать о появлении проводящей среды в нижней образующей трубопровода.

Появление проводящей фазы является следствием конденсации слабоминерализованной воды, которая будет способствовать образованию и развитию так называемого ручейка. С ростом минерализации воды LPR-датчик будет регистрировать увеличение скорости коррозии. Превышение сформированного порогового значения в совокупности с другими параметрами позволяет зафиксировать факт начала ручейковой коррозии. Одновременно каналы ER-сканера, датчики которых установлены в нижней образующей трубы, зарегистрируют значительное увеличение скорости коррозии по сравнению с предыдущими значениями и с показаниями канала ER, установленного в центре трубы. С ростом минерализации воды три канала ER-сканера в нижней образующей трубы начнут обнаруживать коррозионные градиенты, свидетельствующие о наличии локальной коррозии. Если условия в трубопроводе изменятся и вода перестанет формировать ручеек на нижней образующей трубопровода, это также будет видно по показаниям LPR-датчика и по ре-

зультатам сравнения показаний четырех датчиков ER. Таким образом, система эффективна для газовых сред с ручейковой коррозией. В сочетании с ER-сканером возможна модификация для работы с многофазными средами независимо от места установки.

На рис. 5 представлены гравиметрические кассеты со следами коррозионных воздействий. Даже визуальная оценка позволяет дифференцировать кассеты с равномерной коррозией, с равномерной и слабо проявленной локальной коррозией, с равномерной и ярко выраженной локальной коррозией. Численная оценка величины локальных повреждений возможна с помощью методов профилометрии. Вычисление скорости локальной коррозии в данном случае возможно только на основе измерений геометрических параметров локальных коррозионных повреждений на каждом из образцов кассеты, что является ресурсоемкой и длительной процедурой.

Термин «коррозионный градиент» подразумевает наблюдение видимых различий в функциях скорости коррозии, получаемых с различных каналов ER-сканера в реальном времени. Обнаружение коррозионных градиентов между каналами сканера в случае горизонтального его расположения свидетельствует о начале локальных коррозионных процессов.

Среднеповерхностную скорость коррозии в этом случае можно рассчитать по формуле

$$v_{\text{средняя}}(t, T) = \frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j(t) dt, \quad (1)$$

где  $v_j(t)$  – скорость коррозии, мм/год, измеренная в  $j$ -м канале и привязанная к моменту времени  $t$ ;  $T$  – временной интервал, за который усредняется среднеповерхностная скорость коррозии;  $n$  – количество независимых ER-каналов.

Описывать поведение локальной коррозии во времени предлагается на основе следующей эмпирической функции:

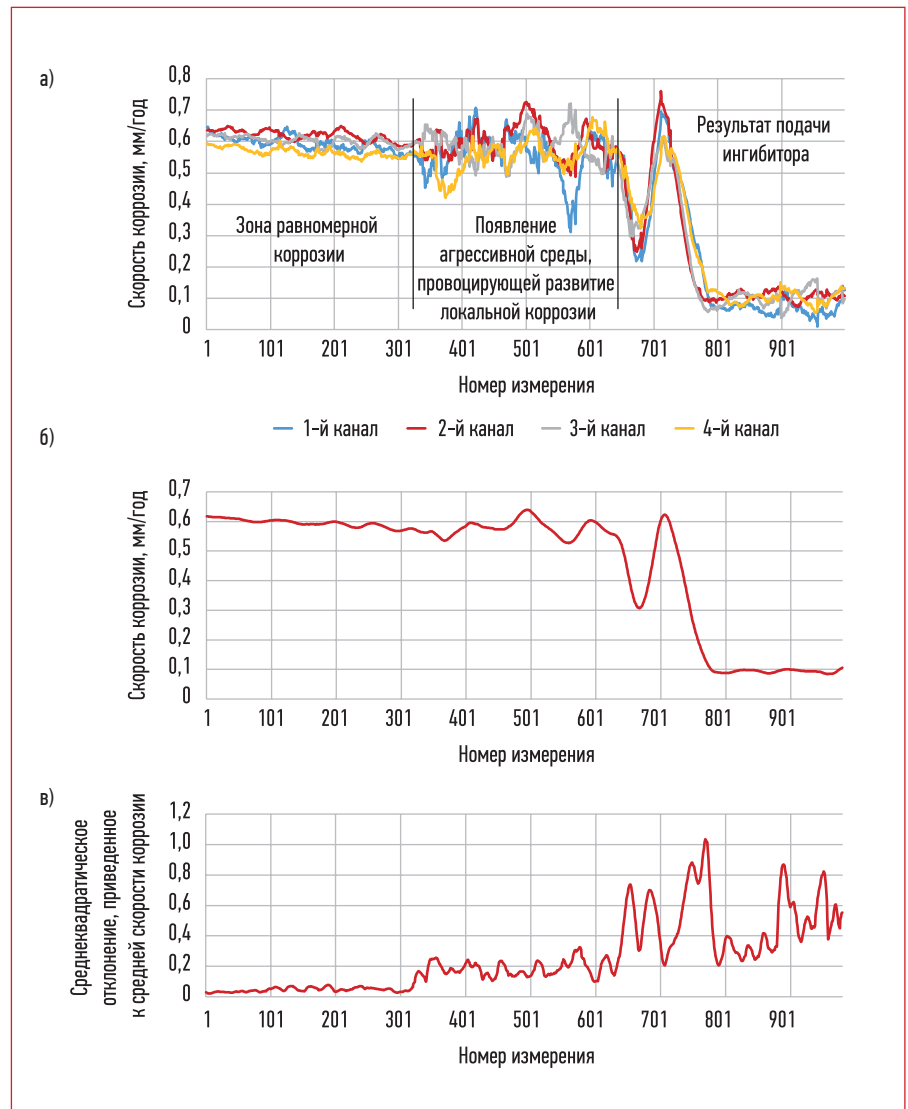


Рис. 6. Результаты лабораторных исследований четырехканального электронного аналога гравиметрической кассеты:

а) скорость коррозии по каналам; б) скорость среднеповерхностной коррозии; в) отношение среднеквадратического отклонения к средней скорости коррозии (усреднено по четырем каналам)

$$v(t_j) = f\{v_{\text{средняя}}(t, T), \sigma_v(t_j, T), v_{\text{макс}}(t_j)\}, \quad (2)$$

где  $\sigma_v(t_j, T)$  – среднеквадратическое отклонение (СКО) от среднего значения скорости коррозии;

$$v_{\text{макс}}(t_j) = \begin{bmatrix} v_1(t_j) \\ v_2(t_j) \\ \dots \\ v_n(t_j) \end{bmatrix} -$$

максимальная скорость коррозии, по данным  $n$  ER-каналов.

При этом СКО мгновенных значений скорости коррозии в каждом из пространственно разнесенных каналов от среднего значения, рас-

считанного по формуле (1), можно вычислить как:

$$\sigma_v(t_j, T) = K \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [v_j(t_j) - v_{\text{средняя}}(t, T)]^2 dt}, \quad (3)$$

где  $K$  – нормирующий коэффициент, зависящий от закона распределения скорости локальной коррозии по поверхности металла. Значения величин  $K$  и  $T$  принимаются на основе эмпирических данных, соответствующих месту установки сканера.

На рис. 6 представлены результаты лабораторных исследований четырехканального ER-сканера.

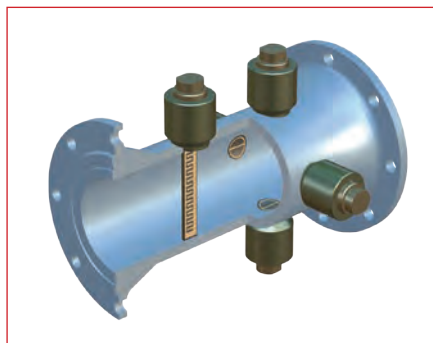


Рис. 7. Сканер локальной коррозии

Отчетливо видны зона равномерной коррозии, зона, где в ячейку был введен состав, усиливающий локальную коррозию, и зона, где в ячейку был введен ингибитор коррозии. Сравнение графиков наглядно демонстрирует эффект подавления ингибитором среднеповерхностной коррозии (рис. 6б). В то же время на рис. 6в мы видим усиление процессов локальной коррозии.

Такая ситуация (назовем ее казус-фактором) хорошо известна в нефтепромышленной практике: приборы LPR или ER показывают низкую скорость коррозии, а аварии на трубопроводах продолжают. Усиление скорости локальной коррозии при недостаточной дозировке ингибитора коррозии неоднократно описано в литературе (например, [5, 6]). Разработанный четырехканальный ER-сканер позволяет в реальном времени в автоматизированном режиме увидеть, стимулирует ингибитор коррозии

локальную коррозию или подавляет и если подавляет, то насколько эффективно.

Лабораторная установка на основе четырехканального ER-сканера (рис. 7) позволяет исследовать ингибиторы коррозии на способность подавления локальной коррозии в режиме реального времени прямым методом.

Выбор отношения СКО к средней скорости коррозии в качестве показателя уровня локальной коррозии подтвержден обработкой большого числа данных, полученных с помощью образцов контроля коррозии весовым методом на многих месторождениях. В качестве примера приведем данные, полученные на Кошильском, Хохряковском и Западно-Салымском месторождениях (табл. 2). Из представленных данных видно, что там, где локальная коррозия проявляется отчетливо (строки 1, 3, 4, 5), отношение СКО к средней скорости коррозии составляет 0,92–1,50 (по всей имеющейся информации – от 0,46 до 2,04), а там, где локальная коррозия незначительна (строка 2), отношение составляет 0,26 (0,09–0,36). Необходимо отметить, что отношение СКО к средней скорости коррозии характеризует проявление локальной коррозии как при значительных средних скоростях коррозии, так и при очень низких (строка 5).

Практическое применение только ER-сканеров значительно увеличи-

вает объем данных о происходящих во внутритрубном пространстве процессах. В системе детектирования ручейковой коррозии помимо горизонтального трехканального ER-сканера информационную матрицу формируют также данные с LPR- и ER-канала, датчик которого установлен в средней части сечения трубы. Использование различных методов измерения скорости коррозии в сочетании с зонированием трубного пространства позволяет не только верифицировать получаемые результаты по среднеповерхностной скорости потери металла, но и оценивать скорость локальной (неравномерной) коррозии на основе алгоритмов с использованием математического аппарата взаимной корреляционной обработки результатов. По сути, разработанное устройство является ловушкой локальной коррозии, по сигналу с которой должна начинаться и корректироваться подача ингибитора.





#### Сканер локальной коррозии

Для сред, в которых отсутствуют газовая фаза в центре трубопровода и ручеек по нижней образующей, предлагается такое техническое решение, как сканер локальной коррозии (SLC-Scanner of Local Corrosion) (рис. 7). Сканер состоит из четырехканального высокочувствительного LPR-прибора, датчики которого имеют часовое расположение по внутренней образующей трубы, и четырехканального ER-сканера. Конструкция позволяет независимо от типа течения и структуры потока в реальном времени получать информацию о прямых воздействиях среды на чувствительные элементы зондов, а также о максимальном потенциале агрессивности среды. На основе этих данных формируются верифицированные, статистически корректные оценки скорости как общей, так и локальной коррозии. В целом SLC предназначен для работы с многофазными сре-



Рис. 8. Лабораторные зонды для комплексной проверки качества ингибиторов прямым (с помощью электронного аналога гравиметрической кассеты) и комбинированными методами

Таблица 2. Средняя скорость коррозии и среднеквадратическое отклонение образцов контроля коррозии весовым методом

№	Месторождение	Средняя скорость коррозии, мм/год	Среднеквадратическое отклонение, мм/год	Отношение среднеквадратического отклонения к средней скорости коррозии	Фотографии кассет с образцами контроля коррозии весовым методом
1	Кошильское	0,6612	0,9923	1,50	
2	Хохряковское	0,7935	0,2100	0,26	
3	Хохряковское	0,2940	0,2950	1,00	
4	Хохряковское	0,6577	0,6341	0,96	
5	Западно-Салымское	0,0277	0,0256	0,92	

дами с нестабильными гидродинамическими характеристиками независимо от места установки. Прототипы промышленных систем, реализующие технические решения ER-сканера, системы детектирования ручейковой коррозии и SLC созданы и испытаны в лабораторных условиях. Все решения запатентованы. Кроме того, создана установка (рис. 8), позволяющая на основе алгоритмов обработки информации, используемых в SLC и системе детектирования ручейковой коррозии, в лабораторных условиях оценить качество работы ингибиторов кор-

розии по подавлению как общей, так и локальной коррозии прямым и комбинированными методами. Установка также дает возможность проводить исследования процессов развития среднеповерхностной и локальной (неравномерной) коррозии за счет создания коррозионных сред разной степени агрессивности, а также изменения гетерогенности структуры создаваемого потока.

**ВЫВОДЫ**

1. Предложены способы и устройства контроля эффективности применяемого ингибитора кор-

розии в совокупности с режимом его подачи непосредственно в промышленных условиях по критерию подавления локальной и общей коррозии.

2. Создан инструмент для исследования качества работы ингибиторов по локальной и общей коррозии прямым методом в режиме реального времени.

3. Найденные технические решения позволяют создавать комплексные промышленные системы коррозионного мониторинга в режиме реального времени, повышая эффективность ингибиторной защиты.

**Литература:**

- Маркин А.Н., Суховерхов С.В., Бриков А.В. Локальная углекислотная коррозия трубопроводов систем сбора нефти месторождений Западной Сибири // Нефтепромысловое дело. 2017. № 1. С. 46–48.
- Маркин А.Н., Низамов Р.Э. CO<sub>2</sub>-коррозия нефтепромыслового оборудования. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. 188 с.
- Денисов П.Ю., Маркин А.Н., Бриков А.В. Оценка защитных свойств ингибиторов коррозии с помощью лабораторной установки «вращающийся барабан» // Нефтепромысловое дело. 2017. № 10. С. 52–57.
- Блохин В.А., Манжосов А.К., Маркин А.Н. Особенности измерения параметров углекислотной коррозии в газовых средах // Коррозия «Территории «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 1 (39). С. 54–62.
- Устройство для контроля неравномерной коррозии внутренней поверхности трубопроводов: пат. RU 2715474 C1, МПК G01N 17/02, G01N 27/20 / В.А. Блохин, А.Ю. Доросинский, А.Б. Лебедев, А.К. Манжосов, А.Н. Маркин; патентообладатель ООО «НПП «Сонар»; № 2019110997, заявл. 12.04.2019; опубл. 28.02.2020, Бюл. № 7. 11 с.
- Способ мониторинга углекислотной коррозии в промышленных газопроводах и устройство для его осуществления: пат. RU 2685055 C1, МПК G01N 17/00 / В.А. Блохин, А.Н. Маркин, А.К. Манжосов, А.Ю. Доросинский; № 2018123875, заявл. 29.06.2018; опубл. 16.04.2019, Бюл. № 11. 14 с.
- Блохин В.А., Доросинский А.Ю., Манжосов А.К., Маркин А.Н. Система контроля углекислотной коррозии в газовых средах // Материалы Международной академической конференции «Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири» / Отв. ред. С.И. Грачев. Тюмень: ТИУ, 2018. С. 48–55.
- Блохин В.А., Доросинский А.Ю., Манжосов А.К., Маркин А.Н. Система обнаружения локальных коррозионных процессов на ранних стадиях // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. № 4. С. 44–48.
- Blokhin V., Dorosinskiy A., Manzhosov A., Markin A. A Method for Detecting the Early Stages of Local Corrosion Processes // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 121 [Электронный источник]. Режим доступа: [www.researchgate.net/publication/336519207\\_A\\_method\\_for\\_detecting\\_the\\_early\\_stages\\_of\\_local\\_corrosion\\_processes/link/5da46f6e299bf116fea56c32/download](http://www.researchgate.net/publication/336519207_A_method_for_detecting_the_early_stages_of_local_corrosion_processes/link/5da46f6e299bf116fea56c32/download) (дата обращения: 09.06.2020).