

На правах рукописи

МУРАТОВ КАМИЛЬ РАХИМЧАНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОРРОЗИОННОЙ
ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И
ИНГИБИТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ**

Специальность 25.00.19 – Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень 2005

Работа выполнена на кафедре физики № 1 Тюменского государственного нефтегазового университета.

Научный руководитель:

заслуженный работник высшей
школы, доктор ф.-м. наук, профессор

НОВИКОВ
Виталий Федорович

Официальные оппоненты

Доктор техн. наук,
профессор

ЗЕМЕНКОВ
Юрий Дмитриевич

Кандидат
физ.-мат. наук

ПЕРЕКУПКА
Александр
Григорьевич

Ведущая организация – ООО «ТюменНИИГИПРОГАЗ»

Защита диссертации состоится 25 ноября 2005 г. в 15³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.02 Тюменского государственного нефтегазового университета по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38, ТюмГНГУ, в зале имени А.Н. Косухина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТюмГНГУ.

Автореферат разослан 25 октября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор техн. наук, профессор

ЧЕЛОМБИТКО
Сергей Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Система магистральных трубопроводов (МТ) России продолжает успешно развиваться. Однако при этом большой срок эксплуатации (25-30 лет), приводит к нарушению целостности изоляционного покрытия, так как агрессивная почвенно-воздушная среда являются одной из причин разрушения МТ. По данным Ростехнадзора за период 1991-2000 г в России более 50 % аварий и отказов произошло по причине наружной коррозии.

Внутритрубная дефектоскопия являющаяся одним из активных средств определения коррозионных повреждений весьма трудоемка и не всегда возможна. Известно, что в пределах 40 % магистральных газопроводов подготовлено к пропуску снарядов-дефектоскопов, и в ближайшее время нереально ожидать существенного увеличения этого показателя.

Для уменьшения коррозии и обеспечения сохранности трубопроводов применяется ряд методов, в том числе электрохимическая защита (ЭХЗ). Ее эффективность оценивают по образцам-свидетелям, которые расположены рядом с трубопроводом, изготовлены из того же материала, находятся под общим с ним потенциалом и испытывают аналогичные механические нагрузки.

Величина заданного потенциала электрохимической защиты, по которой принято оценивать работу ЭХЗ трубопровода, является зачастую некоторой усредненной ГОСТовской величиной. Поэтому она не всегда оптимальна для некоторых участков, где агрессивность грунта по отношению к металлу трубопровода, больше проектной. Неравномерность коррозионной активности обусловлена как сезонными факторами, так и случайными (например, сухой или влажный год, биокоррозия, блуждающие токи, сбой в работе ЭХЗ и т.д.). Таким образом, целесообразно проводить анализ агрессивности грунта по отношению к металлу трубопровода по всей его длине.

Современные технологии диагностики трубопроводных систем предусматривают установку в автоматическую систему управления (АСУ) МТ. В соответствии с ГОСТом коррозионная агрессивность грунта определяется по убыли массы образцов-свидетелей, которую определяют трудоемким и неавтоматизированным весовым методом. Поэтому для контроля работы ЭХЗ актуальна разработка новых методов автоматического контроля развития коррозии.

Диагностическую основу современного комплекса коррозионного мониторинга, предложенного ВНИИГАЗом, составляют индикаторы: поглощения водорода, поляризационного потенциала, коррозии. Индикаторы коррозии обладают высокой чувствительностью и представляют собой образцы-свидетели в виде стальной ленты, по изменению электросопротивления которых определяется скорость коррозии. При этом металл резистивных образцов находится в ненагруженном состоянии, а для получения более достоверной информации о коррозии трубопровода необходимо иметь адекватно нагруженный металл образца. Кроме того, в методике расчета скорости коррозии по изменению сопротивления резистивного датчика не учитывается влияние неоднородности коррозионного процесса.

Следует отметить, что корреляция между коррозией металлической конструкции и датчика-свидетеля не всегда корректна. Это обусловлено тем, что устанавливаемое количество датчиков не позволяет учесть все коррозионные условия, в которых находится исследуемая конструкция (трубопровод). Более того, датчики-свидетели являются надежным индикатором эффективности ЭХЗ, но рассчитаны они на срок службы до 2-х лет, а исследуемая конструкция эксплуатируется десятилетиями.

Кроме МТ значительной внутренней коррозии подвержены промышленные нефтепроводы. Для снижения агрессивности неочищенных нефтепродуктов используют ингибиторы коррозии, эффективность которых оценивают, главным образом, неавтома-

тизированным весовым методом по убыли массы образцов-свидетелей. По результатам измерений периодически изменяют количество ингибиторов. Такая корректировка не эффективна из-за большого временного интервала между измерениями и принятием решения, что приводит к нерациональному завышению количества применяемых ингибиторов.

Таким образом, совершенствование и создание новых методов преобразования коррозионной убыли в электрический сигнал, позволяющих автоматизировать контроль ЭХЗ трубопровода и ингибиторной защиты (ИЗ), является актуальной задачей.

Цель работы. Совершенствовать методы и средства коррозионной диагностики для повышения эффективности электрохимической и ингибиторной защиты трубопроводов.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи:**

- установить связь коррозионной убыли металла датчика-свидетеля между деформацией его нагружающего стержня, электромагнитными и магнитными параметрами датчика;
- разработать методику получения информации о коррозии металла трубопровода в виде электрического сигнала с помощью датчика-свидетеля на основе зависимости деформации его нагружающего стержня, электромагнитных и магнитных параметров от коррозионной убыли массы, а также определить оптимальные соотношения размеров элементов деформационного датчика;
- совершенствовать алгоритм расчета убыли металла резистивного датчика по изменению электросопротивления с учетом неравномерности скорости почвенной коррозии по поверхности металла;
- создать методику измерений и расчета скорости коррозии металла трубопровода магнитным датчиком.

Научная новизна.

- Установлены и экспериментально подтверждены зависимости деформации, электромагнитных и магнитных параметров коррозионного элемента от коррозионной убыли металла.
- Разработаны методики получения информации о коррозии трубопровода в виде электрического сигнала и его обработки на основе установленных зависимостей деформации, электромагнитных и магнитных параметров датчика от коррозионной убыли металла.
- Разработан алгоритм расчета коррозионной убыли резистивного датчика-свидетеля коррозии по изменению электросопротивления с учетом неравномерности коррозии.
- Создана методика выполнения измерений скорости коррозии металла трубопровода магнитным датчиком.

Практическая значимость работы.

- Применение нагруженных датчиков-свидетелей коррозии с электрическим съемом информации позволяет снизить трудоемкость измерений, увеличить их информативность и в автоматическом режиме управлять эффективностью работы электрохимической и ингибиторной защиты трубопроводов.
- Разработанный прибор и методика измерения магнитным датчиком-свидетелем коррозии, аттестованная в ФГУ «Тюменский ЦСМ», позволяют в автоматическом режиме определять эффективность электрохимической и ингибиторной защиты трубопроводов.
- Методика учета влияния неравномерности коррозии на электросопротивление резистивного датчика может служить инструментом для определения характера коррозии.

Апробация работы.

Основные результаты работы опубликованы в работах [1-9]. Исследования выполнялись в рамках НИР по договору № 25/01 ОАО Сургутгазпром.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 144 страницах, содержит 53 рисунка, 8 таблиц и 4 приложения. Список литературных источников состоит из 104 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводится обоснование актуальности работы, определен объект исследования, сформулирована его цель, изложены основные положения и результаты работы, представляющие ее новизну.

В **первом разделе** проведен обзор существующих методов и средств измерения агрессивности среды (в частности, скорости коррозии) для контроля ЭХЗ трубопровода. Он показал, что в настоящее время нет долговременных механически нагруженных датчиков коррозии, способных преобразовывать информацию в электрический сигнал и простых по способу закладки в грунт. Сделан вывод о малой эффективности существующих методов. В связи с выявленной проблемой сформулированы цели и задачи исследований.

Второй раздел посвящен разработке деформационного метода преобразования коррозии в электрический сигнал и основанного на нем датчика-свидетеля для определения агрессивности среды и контроля ЭХЗ и ИЗ трубопроводов.

В работе обоснован метод преобразования коррозии в электрический сигнал по изменению деформации механически нагруженного коррозионного элемента в процессе коррозии. Для реализации разработанного метода предложена конструкция

датчика (рис. 1), позволяющая реализовать однородную механическую нагрузку растяжения или сжатия коррозионного элемента. Основными элементами являются подвергаемый коррозии элемент в виде цилиндра и осевой стержень. С помощью ввинчивания стержня в цилиндр он деформируется (создается механическое напряжение) до заданной величины.

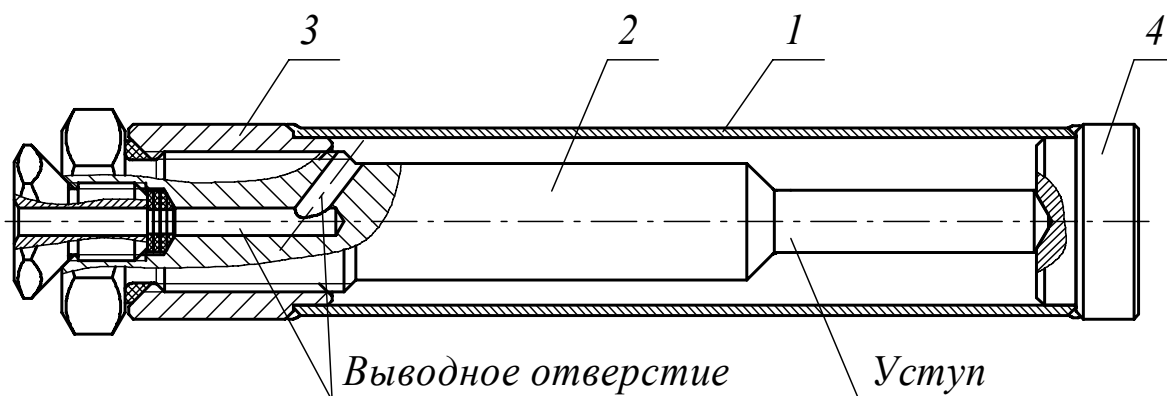


Рис. 1 Датчик коррозии деформационный:

1 – цилиндр, 2 – осевой стержень, 3 – гайка, 4 – опора.

В процессе коррозии толщина стенки растянутого цилиндра уменьшается, соответственно уменьшается его жесткость, и как следствие, длины цилиндра и стержня увеличиваются. По величине деформации стержня определяется коррозионная убыль металла цилиндра. Такой подход открывает возможности для создания различных конструкций датчиков путем применения существующих способов измерения деформации (силы), например, индуктивный, электромагнитный, пьезомагнитный и т.д. Проанализированы методы измерения деформации и выбран тензорезистивный способ ее измерения с помощью тензорезисторов, наклеиваемых на стержень. Преимуществом тензорезистивного способа является высокий уровень развития технологии наклейки и термообработки, что обеспечивает практическое отсутствие релаксаций клеевого соединения в нагруженном состоянии в течение длительного времени.

В основу определения зависимости коррозионной убыли от деформации ε центрального стержня была положена схема,

изображенная на рис. 2. Здесь l_C и l_T – длина стержня и трубки, Δl_C и Δl_T их деформация при нагружении коррозионного элемента, соответственно, Δ_P – деформация вспомогательных элементов датчика, например, резьбы.

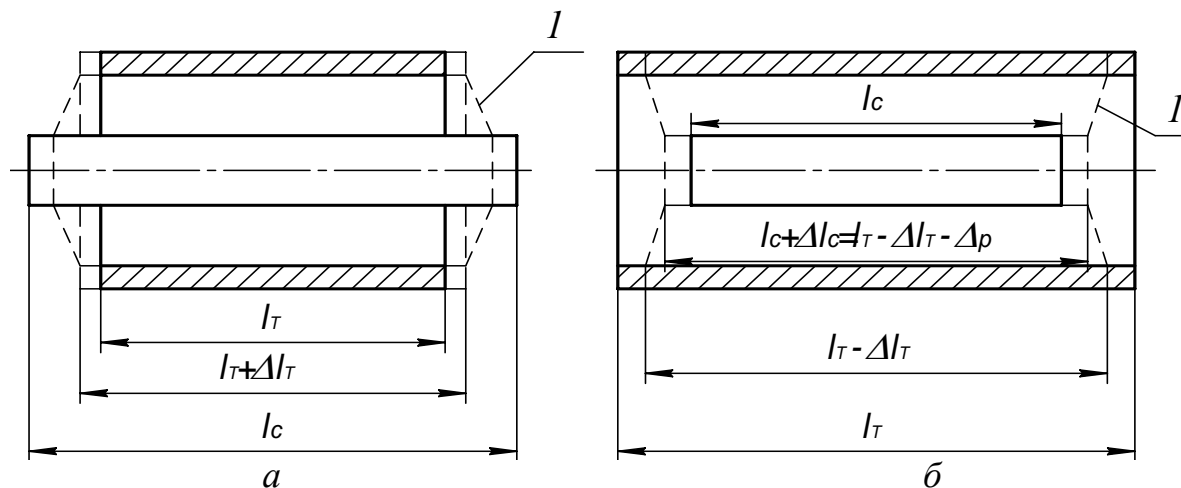


Рис. 2 Схема деформации элементов датчика:

a – при растяжении цилиндра; b – при сжатии цилиндра.

На схеме пунктирными линиями 1 показаны цилиндр и стержень в деформированном (нагруженном) состоянии при растяжении цилиндра (рис. 2, a) и его сжатии (рис. 2, b). В результате получено обобщенное уравнение для сжатия и растяжения трубки

$$\Delta l_C + \Delta l_T + \Delta_P = (l_C - l_T) \cdot (-1)^n, \quad (1)$$

где: $n=0$ – цилиндр растягивается; $n=1$ – цилиндр сжимается.

После преобразований была получена зависимость

$$\Delta m = a \cdot \left(\frac{F_1}{1 - bF_1} - \frac{F_2}{1 - bF_2} \right), \quad (2)$$

где: F_1 , F_2 – нагрузка на стержень в момент первого и второго измерений $F = \varepsilon S_{cm} E$, S_{cm} – площадь поперечного сечения стержня на участке измерения, E – модуль упругости; Δm – убыль массы трубки; a и b – обобщенные коэффициенты, зависящие, как показано в диссертации, от конструкции датчика и начального усилия нагружения.

Для увеличения чувствительности измерения стержень сделан двухступенчатым. В этом случае абсолютная деформация

стержня сосредотачивается преимущественно на участке меньшего сечения, следовательно, возрастает полезный сигнал.

Влияние релаксации нагруженных элементов датчика и клеявого соединения тензорезисторов исследовалось на готовой конструкции в течение 4 месяцев. Опыт показал, что в течение первого месяца происходит значительная релаксация, затем она прекращается, и отклонение выходного сигнала не превышает 5 %.

Для проверки расчетной формулы проведены натурные испытания датчика деформационного типа. Датчик помещался в раствор кислоты, и периодически измерялись убыль массы весовым методом и деформация стержня. На рис. 3 показана зависимость обратных значений массы трубки и деформации стержня. Эта зависимость в расчетном уравнении и эксперименте оказалась линейной, что подтвердило правильность расчетных формул.

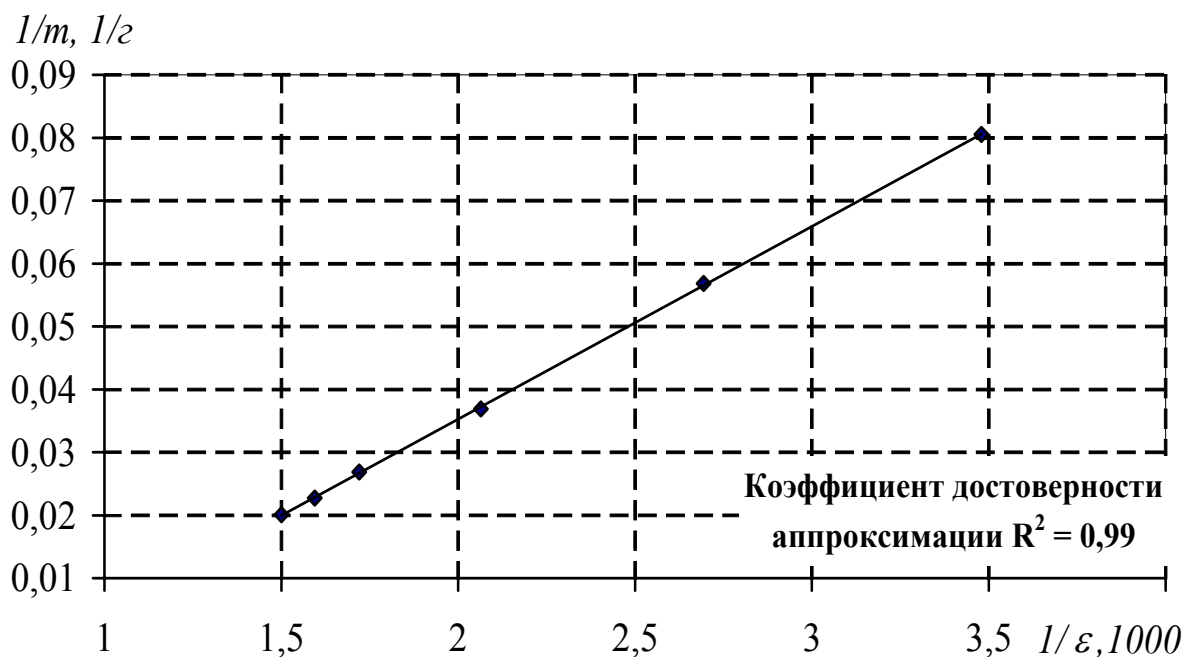


Рис. 3 Зависимость обратных значений массы трубки и деформации стержня.

Проведенная оценка погрешности измерения убыли массы показала, что погрешность метода определяется, главным образом, точностью измерения деформации. Для расчетов погрешности было принято, что размеры деталей датчика выполнены по

седьмому качеству точности, измерение осевого усилия проводится с точностью 1,0 %. В итоге относительная погрешность измерения убыли массы составила 5,0 %.

В третьем разделе приведены результаты исследований преобразования коррозии в электрический сигнал, по изменению магнитного потока в элементах датчика, представляющего собой электромагнитный преобразователь броневого типа. Подобно деформационному датчику он обеспечивает однородное нагружение при отсутствии внешних вспомогательных устройств.

На центральном стержне располагается намагничивающая катушка. Она создает магнитное поле, силовые линии которого замыкаются через металл коррозионного элемента (цилиндра). В целом датчик представляет собой замкнутый магнитопровод, магнитный поток через стержень которого в первом приближении определяется уравнением Гобкинсона

$$\Phi = \frac{I \cdot N \cdot \mu_0}{\frac{l_{ст}}{S_{ст} \cdot \mu_{ст}} + \frac{l_{цил}}{S_{цил} \cdot \mu_{цил}} + \frac{l_{доп}}{S_{доп} \cdot \mu_{доп}}}, \quad (3)$$

где: I – сила тока; N – число витков катушки; $\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная; $\mu_{ст}$, $\mu_{цил}$, $\mu_{доп}$ – относительная магнитная проницаемость материала стержня, цилиндра и дополнительных элементов; $l_{ст}$, $l_{цил}$, $l_{доп}$ – длина соответствующего элемента; $S_{ст}$, $S_{цил}$, $S_{доп}$ – площадь их поперечного сечения.

В процессе коррозии поперечное сечение трубки уменьшается, что согласно уравнению Гобкинсона, при прочих равных условиях, приведет к уменьшению магнитного потока. Эта физическая зависимость использована для преобразования коррозионной убыли в электрический сигнал.

Для обеспечения высокой чувствительности измерения проводились по двум схемам – мостовой и дифференциальной, с применением датчика-эталона. В этом случае выходной сигнал

определяется убылью магнитного потока через утончающийся цилиндр за счет коррозии.

Электромагнитное преобразование коррозии в электрический сигнал реализовалось с помощью мостовой схемы, содержащей рабочий и эталонный датчики, идентичные в исходном состоянии. Было изучено последовательное и параллельное соединение датчиков относительно источника тока. Возбуждение мостовой схемы, создание магнитного поля в датчике, осуществлялось импульсом тока, который создавался при разрядке через мост батареи конденсаторов, предварительно заряженных до заданного напряжения. Преимущество такого способа перед переменным периодическим током в том, что он при малом расходе энергии позволяет создать сильное магнитное поле, способное полностью намагнитить металл датчика, что необходимо для уменьшения влияния внешних магнитных полей. Выходной сигнал с диагонали моста регистрировался запоминающим осциллографом. В качестве параметра измерения были выбраны значение характерных экстремумов выходного сигнала сложной формы и его интегральное значение.

Проведенное математическое моделирование выходного сигнала показало, что расчетные зависимости качественно совпадают с результатами эксперимента. Это позволило физически обосновать выбор измерительных параметров.

Экспериментальные исследования зависимости выходного сигнала от механических напряжений показали, что рабочая величина нагрузок практически не влияет на сигнал.

Во второй части раздела приведены результаты исследований способа измерения коррозионной убыли с помощью измерения магнитного потока при установившемся магнитном поле. Измерение магнитного потока постоянного поля позволяет уйти от переходных процессов, которые заставляют контролировать несколько метрологических характеристик, в отличие от одного – постоянства величины силы намагничивающего тока.

В работе обоснована дифференциальная схема измерения (макет прибора), в которой намагничивающие катушки рабочего и эталонного датчиков соединены последовательно (рис. 4).

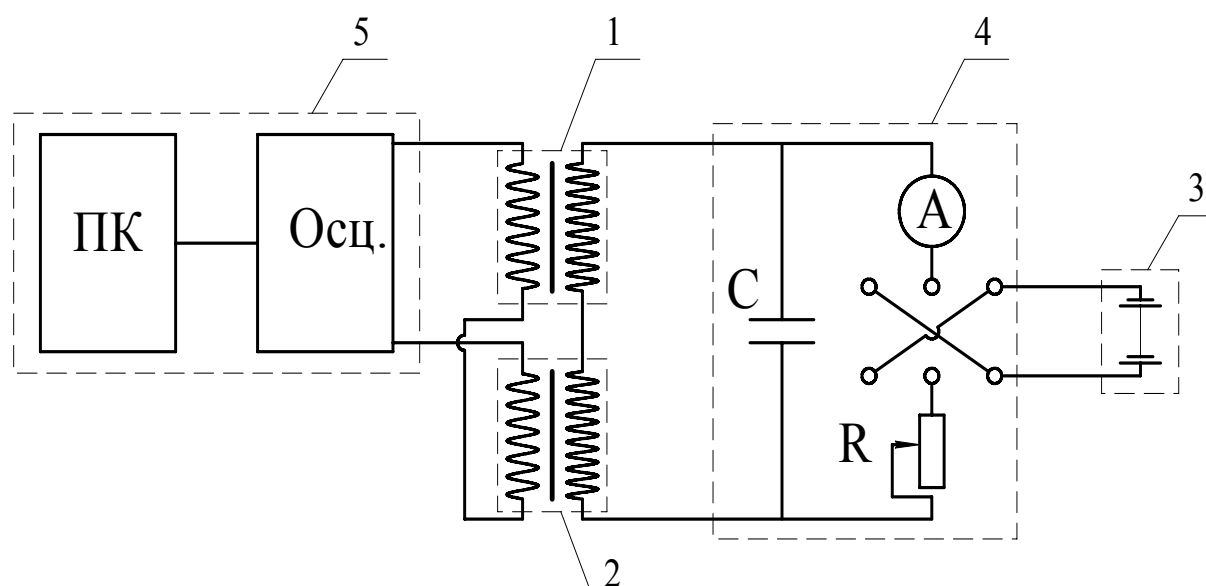


Рис. 4 Блок-схема системы измерения коррозии

1 – рабочий датчик, 2- эталонный датчик, 3 – источник питания, 4 – устройство регулировки, 5 – регистрирующая аппаратура.

Источник питания создает постоянный электрический ток в намагничивающих катушках и в датчиках возникает постоянное магнитное поле, поток которого через стержень датчиков определяется уравнением Гобкинсона. При переключении направления электрического тока устройством регулировки и переключения тока магнитный поток меняет знак. В этот момент в измерительных катушках датчиков возникает ЭДС-индукции, интегральная величина которой за время переключения равна удвоенному значению магнитного потока через стержень (с учетом числа витков измерительной катушки). В результате того, что измерительные катушки подключены встречно, выходной сигнал с них равен разности ЭДС-индукции измерительных катушек рабочего и эталонного датчиков. Интегральное значение выходного сигнала является разностью магнитных потоков рабочего и эталонного датчиков. В процессе коррозии магнитный поток рабочего датчика будет уменьшаться, следовательно, будет увеличиваться

разность магнитных потоков рабочего и эталонного датчиков. Измерение выходного сигнала и его обработку производит регистрирующая аппаратура, состоящая из аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера. Для интегрирования выходного сигнала и его последующей обработки разработана компьютерная программа.

Применение предложенного макета прибора обеспечивает стабильность и точность измерения только за счет контроля величины намагничивающего тока и позволяет встроить его в автоматизированную систему управления трубопроводом.

Проведенные эксперименты показали линейную зависимость выходного параметра от убыли массы. На рис. 5 представлена зависимость значения выходного сигнала от убыли массы. Абсолютная погрешность измерения убыли массы составила 0,33 г при полной убыли 8 г с поверхности коррозионного элемента площадью $2,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, в пересчете на убыль толщины это составляет 20 мкм. По результатам исследования была аттестована методика выполнения измерений и калибрована партия датчиков,

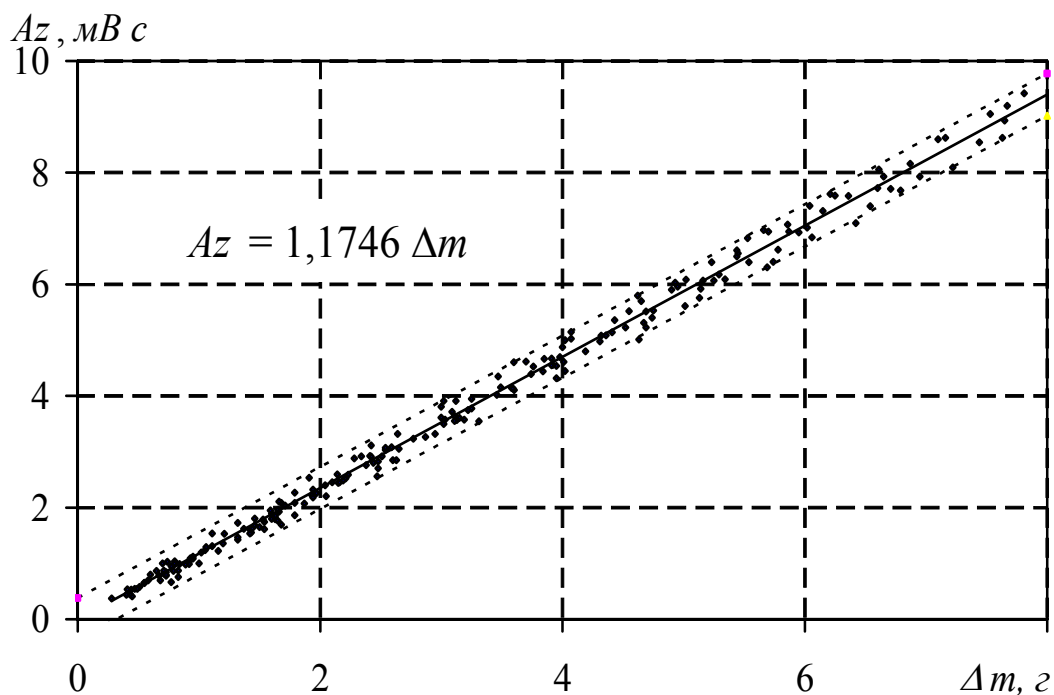


Рис. 5 Зависимость выходного сигнала от соответствующего изменения массы.

на что получены соответствующие свидетельство об аттестации и сертификаты о калибровке в ФГУ «Тюменский ЦСМ».

В четвертом разделе описывается разработанный резистивный датчик для преобразования коррозии в электрический сигнал и созданная методика расчета коррозионной убыли по электросопротивлению с учетом неоднородности коррозионного процесса.

В качестве коррозионного элемента резистивного датчика использовали стальную трубку, диаметром 5 мм, толщиной стенки порядка 1 мм и длиной около 1 м. Такая конструкция позволяет легко устанавливать датчик в отверстие, проделанное проколом в грунте, тем самым обойтись без рытья.

Так как почвенная коррозия носит неравномерный характер, для получения более достоверной информации с помощью стандартных образцов (пластин) их закладывают как минимум по три штуки (обычно 10) вблизи друг друга. Длинномерная конструкция предложенного в работе резистивного датчика в условиях грунта позволяет автоматически усреднить коррозию одним датчиком, так как он испытывает на себе практически всю неоднородность коррозии.

Существование прецизионных омметров (например, Щ306-1) дает возможность с высокой точностью измерять электросопротивления, что позволяет увеличить толщину коррозионных элементов, следовательно, срок их службы. Для компенсации влияния температуры на выходной сигнал нами предложено внутрь коррозионного элемента помещать термосопротивление, представляющее собой проволоку из того же материала.

Созданный длиномерный резистивный датчик прошел испытания на газопроводе вблизи КС-11. Для проверки результатов измерений вместе с каждым из трубчатых датчиков рядом устанавливался резистивный датчик ленточного типа (подобен разработанному во ВНИИГАЗ), коррозию которого определяли весовым методом и по электросопротивлению. Результат, полученный по электросопротивлению, оказался выше полученного

весовым методом. Оценка погрешностей не объяснила этого отклонения. Его объяснение дано во второй части раздела.

Известные расчетные формулы для определения коррозии по электросопротивлению предполагают равномерный характер коррозии, следовательно, одинаковое поперечное сечение коррозионного образца по его длине. Но коррозия в грунте идет неравномерно, в результате чего поперечное сечение коррозионного элемента со временем становится все более неравномерным. Это приводит к систематической погрешности определения коррозионной убыли, что объясняет отклонение в опыте с ленточными датчиками. Для учета неравномерности коррозии предложен новый алгоритм расчета, в котором сечения коррозионного элемента сгруппированы по их возрастанию. Такое перераспределение сечений не влияет на электросопротивление, так как сопротивление последовательно соединенных элементов не зависит от порядка их соединения.

В качестве примера приведен расчет с использованием нормального распределения скорости коррозии. Он показал, что погрешность обусловленная неоднородностью коррозии, возрастает по мере разрушения образца, и по достижении половины его толщины может достичь порядка 10 %. Таким образом, предложенная методика расчета коррозионной убыли, учитывающая ее неоднородность, увеличивает точность измерения и срок гарантированной точности, что важно для долговременного автоматического контроля ЭХЗ и ИЗ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлены зависимости деформации, электромагнитных и магнитных параметров коррозионного элемента от коррозионной убыли металла. На этой основе разработаны датчики-свидетели коррозии, позволяющие контролировать ЭХЗ и ИЗ трубопровода в автоматическом режиме.
2. Определена зависимость чувствительности тензометрического метода от конструктивных особенностей датчика-свидетеля на основе установленной связи деформации его стержня и коррозионной убыли металла, что позволило увеличить чувствительность измерения и оптимизировать конструкцию деформационного датчика.
3. Создана методика расчета коррозионной убыли металла резистивного датчика-свидетеля по изменению его электросопротивления с учетом неоднородности коррозионного процесса. Минимизирована систематическая погрешность измерения скорости коррозии металла трубопровода резистивным датчиком.
4. Разработаны датчики-свидетели коррозии, реализующие преобразование коррозии в электрический сигнал, которые позволяют сократить трудоемкость установки в грунт, встраивать их в АСУ МТ, увеличить оперативность и информативность измерений. Для магнитного датчика разработаны вторичный прибор и методика выполнения измерений, которая аттестована в ФГУ «Тюменский ЦСМ».

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Новиков В.Ф. Интегральный датчик-свидетель коррозии / В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов, В.Ф. Быков // Новые материалы и технологии в машиностроении: Сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. 31 октября – 3 ноября 2000 г. – Тюмень: ТюмГНГУ: 2000. – С. 115-116.
2. Новиков В.Ф. Ускоренное определение величины скорости коррозии / В.Ф. Новиков, В.Ф. Быков, К.Р. Муратов // Актуальные проблемы строительства и эксплуатации газовых скважин, промышленного обустройства месторождений и транспорта газа: Сб. науч. тр. ООО «ТюменНИИгипрогаз» – Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз», Изд-во Недра, 2002. – С. 120-123.
3. Жихарева И.Г. Разработка датчиков-свидетелей коррозии для повышения надежности и эффективности нефтепроводов/ И.Г. Жихарева, В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов, М.А. Шестаков, Р.С. Мясников // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы международной науч.-техн. конф., посвященной 40-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. Тюмень: 2003. – С.52.
4. Новиков В.Ф. Резистивный датчик коррозии / В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов // Нефть и газ: проблемы недропользования, добычи и транспортировки. Материалы научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения В.И. Муравленко. – Тюмень: 2002. – С.156.
5. Муратов К.Р. Сравнительные испытания резистивных датчиков коррозии // сб. тезисов 2-й Региональной н-п конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень: 2003 – С. 152 - 153.
6. Муратов К.Р. Разработка комплексной системы датчиков - свидетелей коррозии / К.Р. Муратов, М.А. Шестаков, Р.С.

- Мясников, И.Г. Жихарева, В.Ф. Новиков // 2-я Региональная н.-п. конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии нефтегазовому региону» Тюмень: 2003. – С.153-154.
7. Свидетельство об аттестации МВИ № 086 Госстандарт России. ФГУ «Тюменский центр стандартизации, метрологии и сертификации» 23.09.04.
 8. Пат. 45024 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 N 17/00. Датчик-свидетель скорости коррозии нагруженный/Новиков В.Ф., Муратов К.Р.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Тюменский госуд. нефтегазовый университет. – № 2004134124/22: заявл. 22.11.2004; опубл. 10.04.2005; бюл. № 10.
 9. Пат. 45530 Российская Федерация МПК⁷ G01 N 17/00. Датчик-свидетель скорости коррозии магнитный/Новиков В.Ф., Муратов К.Р.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Тюменский госуд. нефтегазовый университет – № 2004133415/22: заявл. 16.11.2004; опубл. 10.05.2005; бюл. № 13.