

**ОТЧЕТ**  
**об испытаниях**  
**«Системы контроля скорости коррозии»**  
**в сероводородсодержащих средах**

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.

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.

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

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.

### **1. Система контроля скорости коррозии**

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.

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

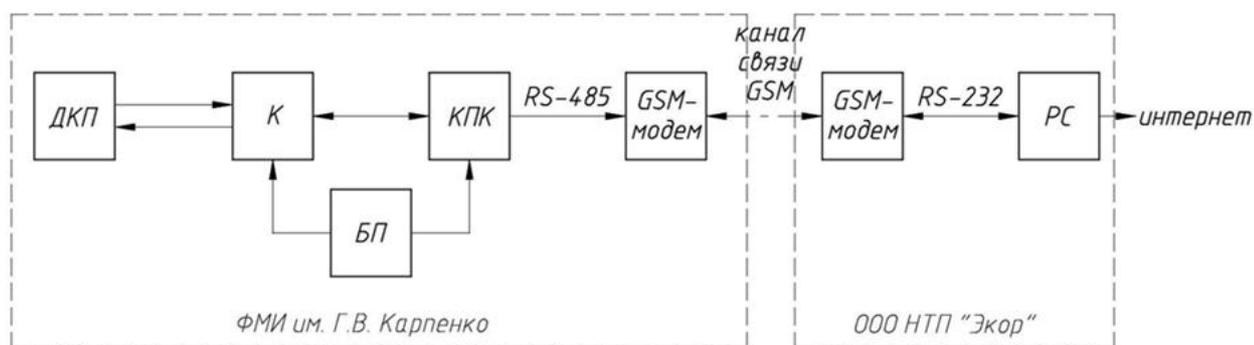


Рис.1 Блок-схема Системы контроля скорости коррозии.

ДКП – датчик коррозии проволоочный

К – коррозиметр

КПК – контроллер процесса коррозии

БП – блок питания

РС – рабочая станция

**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.

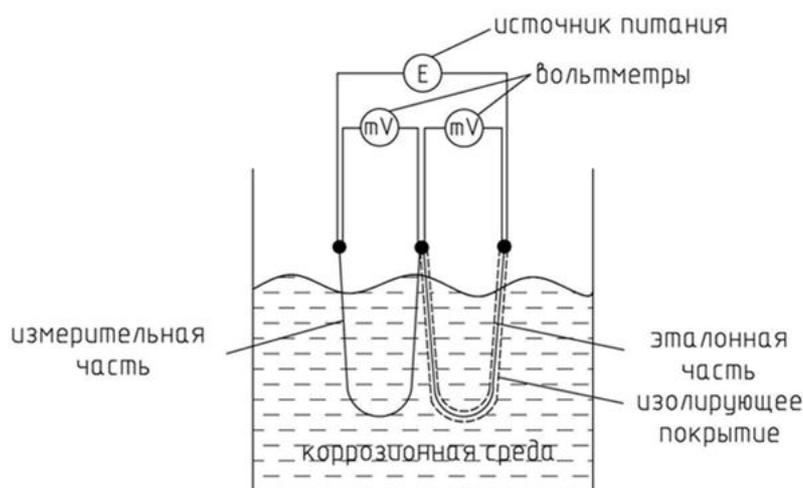


Рис.2 Функциональная схема измерения скорости коррозии методом электрического сопротивления при помощи датчика коррозии

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 20мВ.

По соотношению рассчитывается диаметр либо толщина измерительной части датчика, а по изменению диаметра (толщины) во времени определяется скорость коррозии (Приложение 1).

**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.

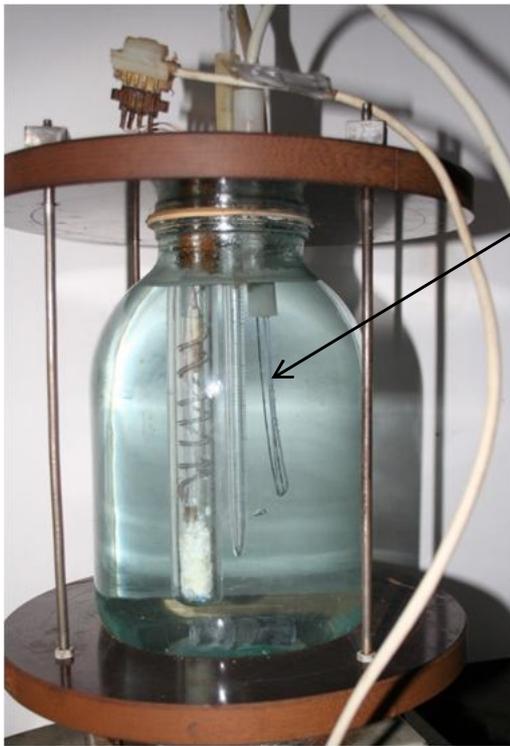
**Рабочая станция** осуществляет визуализацию и архивирование данных, полученных из контроллера процесса коррозии.

Система аттестована как средство измерения скорости коррозии в органах Госстандарта Украины (Приложение 2).

## **2.Условия проведения испытаний**

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

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



Датчик  
коррозии  
проволочный



Рис.3 Установка для проведения испытаний в сероводородсодержащих средах, внешний вид спирального датчика коррозии

Система контроля скорости коррозии (рис.3а) измеряла скорость коррозии датчиков и передавала полученные значение на удаленную рабочую станцию.



Рис.3а Система контроля скорости коррозии, находящаяся на территории ФМИ им. Г.В.Карпенко

Испытания проводились в течение 72 часов с 5 по 8 февраля 2018 г с проволочным датчиком (опыт 1) и с 12 по 15 марта 2018 г со спиральным датчиком (опыт 2).

Датчики коррозии помещались 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.

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

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

Спиральный датчик коррозии изготовлен из стали 08кп. Толщина спирали 0,8 мм, площадь поверхности измерительной части спирального датчика 5,04 см<sup>2</sup>.

Для определения скорости коррозии гравиметрическим методом измерительная часть датчиков 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.

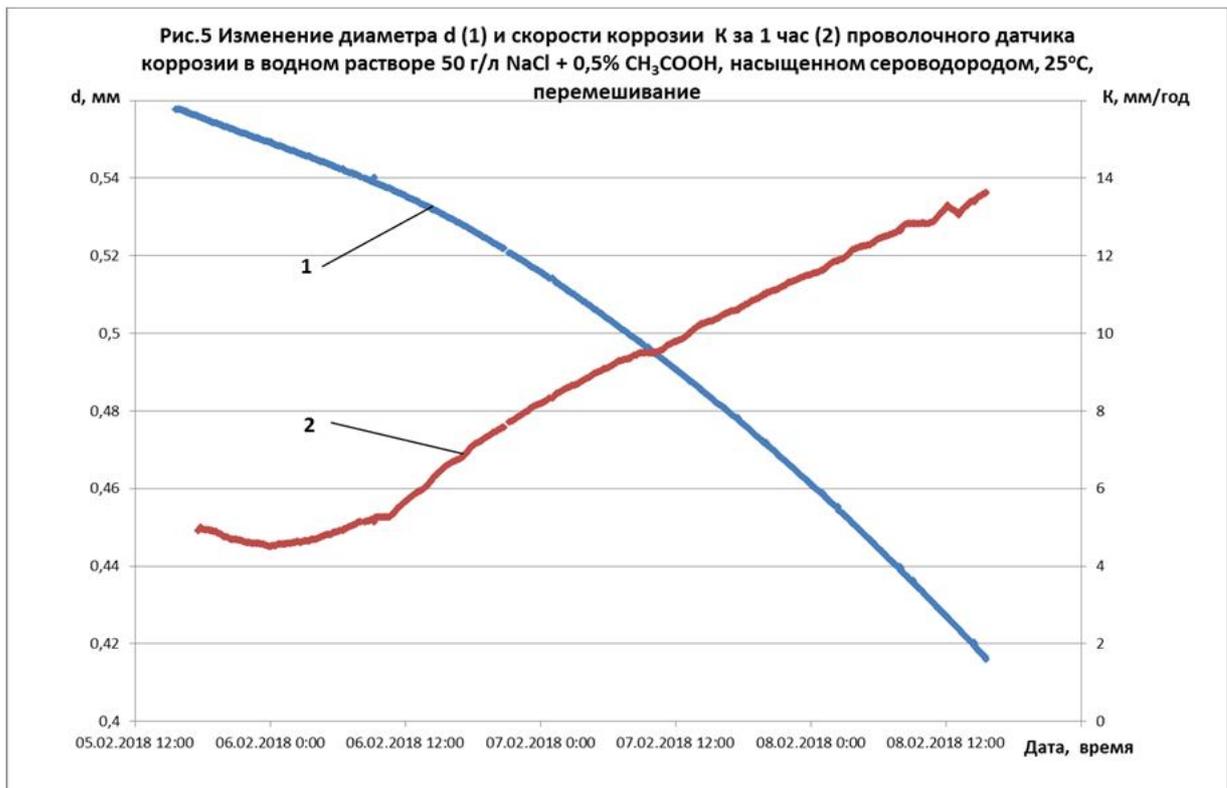
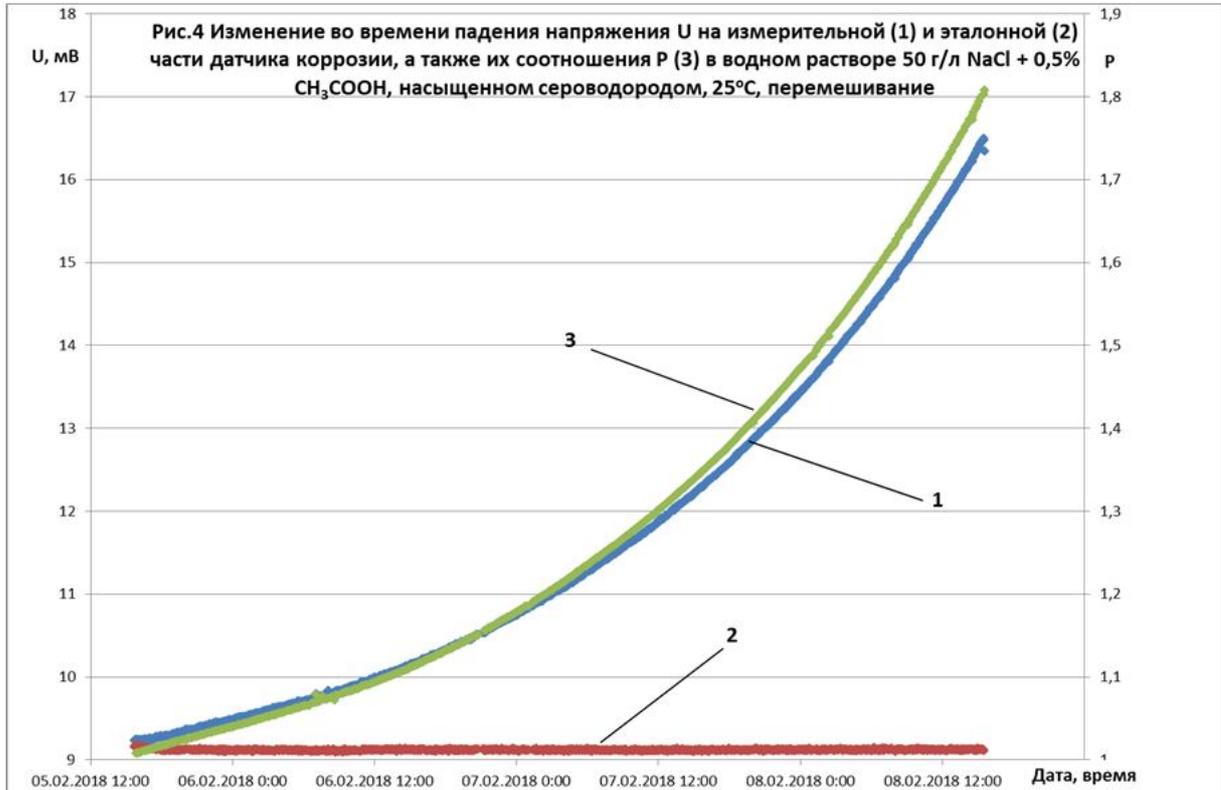
Для определения скорости коррозии проволочного датчика гравиметрическим методом использовалось среднее значение площади – 2,85 см<sup>2</sup>.

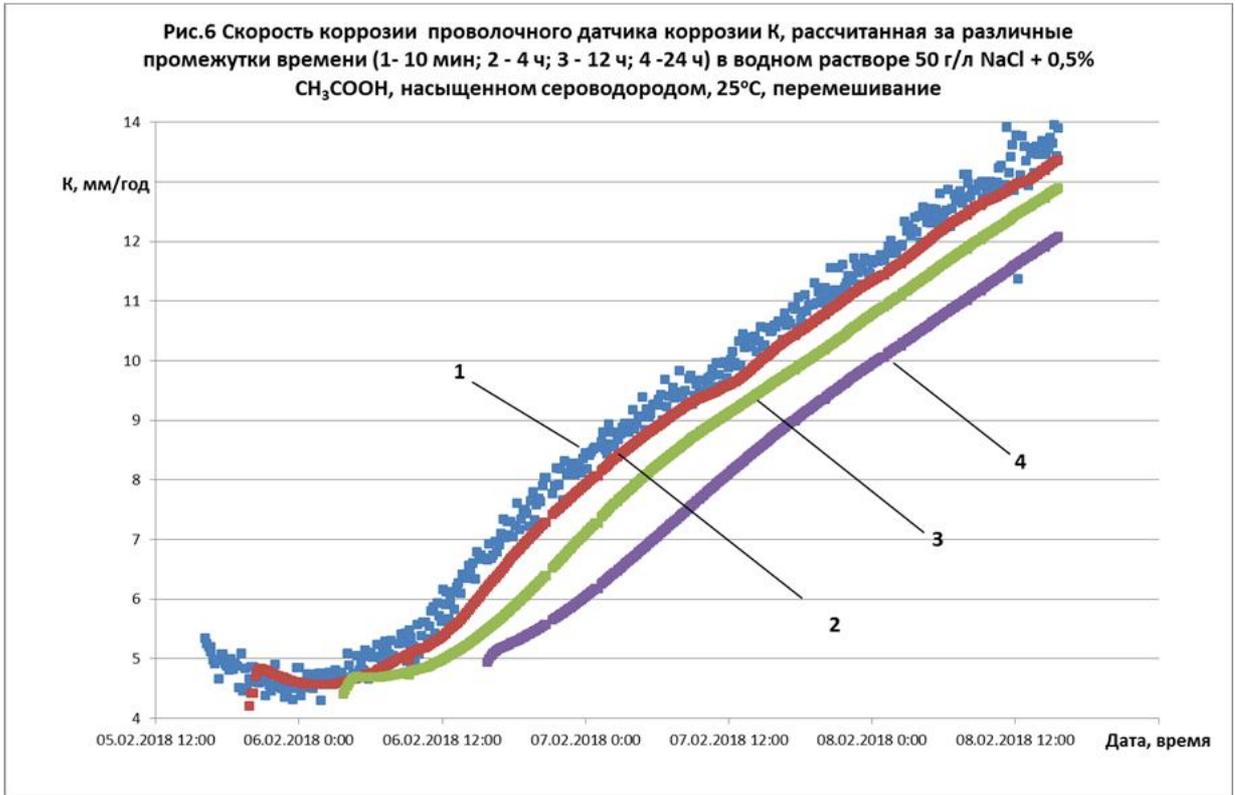
Площадь спирального датчика за время испытаний практически не изменилась.

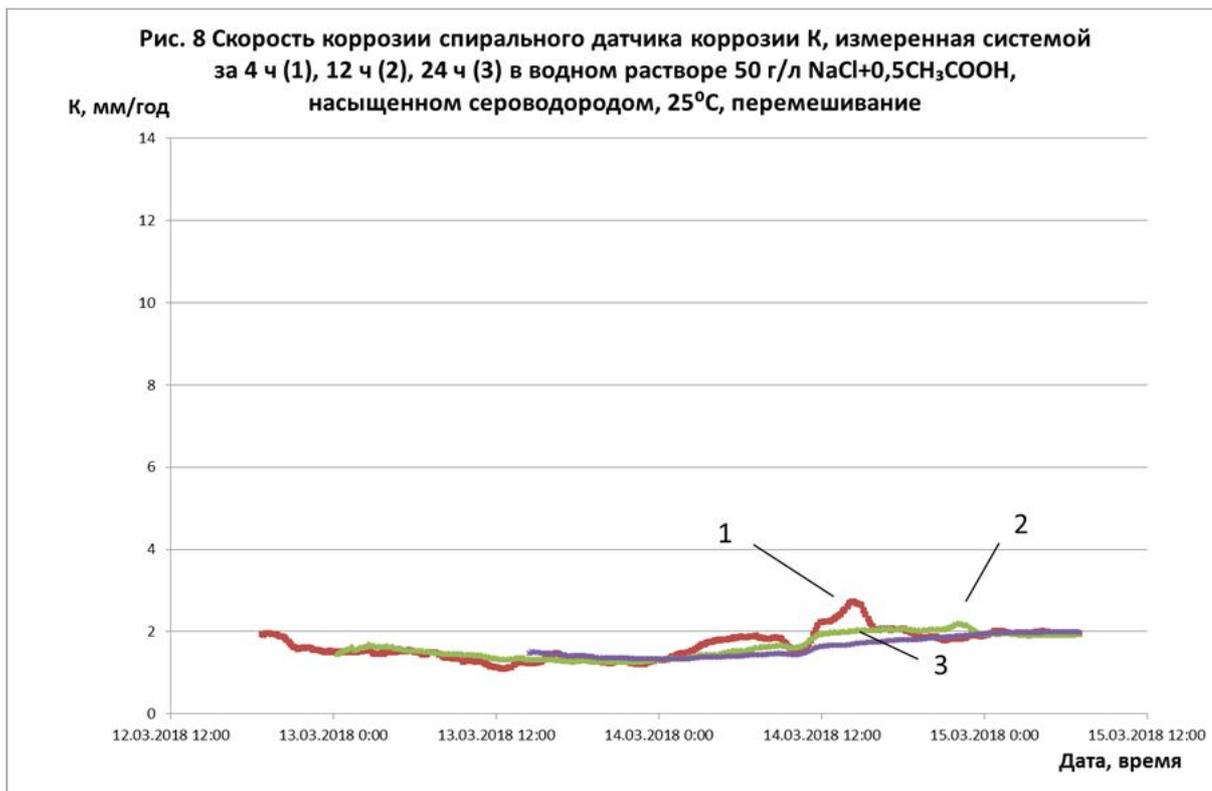
Для определения скорости коррозии с помощью Системы использовалось среднее значение скорости коррозии за период испытаний. Для вычислений использовалась скорость коррозии, измеренная Системой в течение 1 часа для проволочного датчика (рис.5) и скорость коррозии за 4 часа для спирального датчика (рис. 7).

### 3. Результаты испытаний

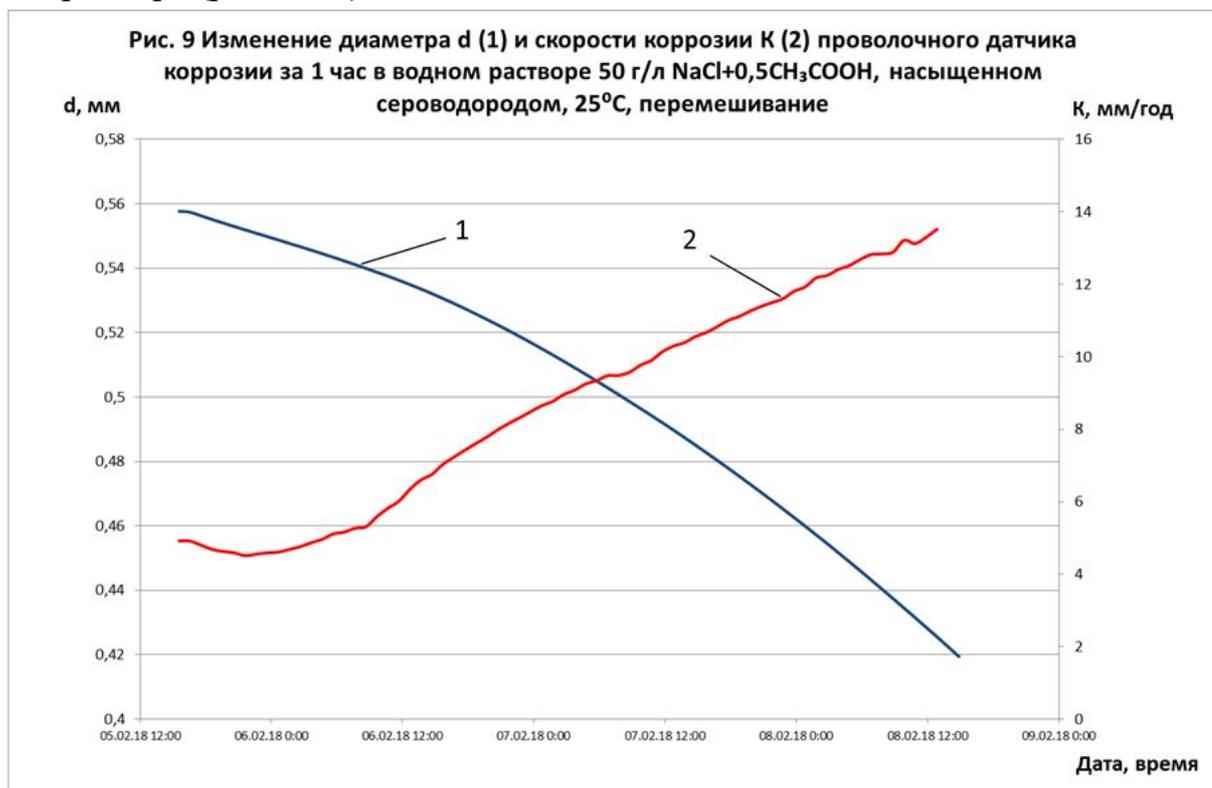
Система непрерывно в течение всего времени испытаний фиксировала скорость коррозии проволочного датчика (рис.4-6) и спирального датчика (рис. 7,8).

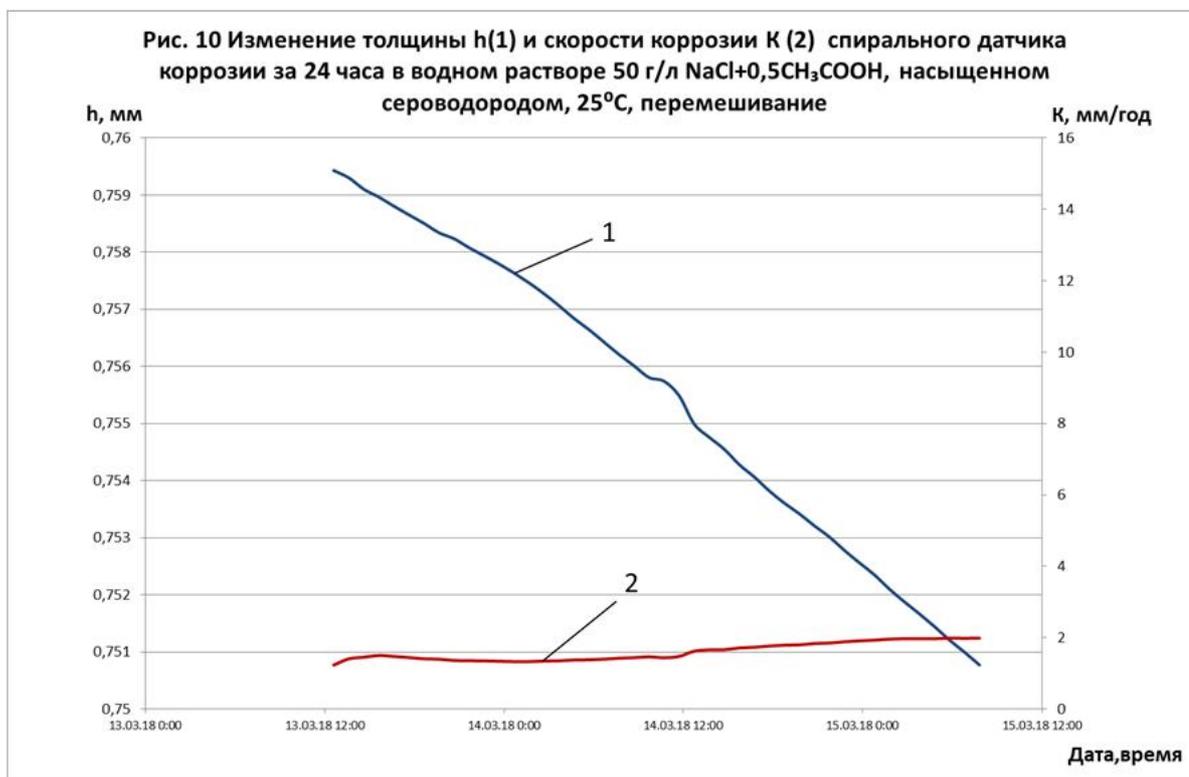






Полученные данные о скорости коррозии за 1 час и за 24 часа, диаметре/толщине датчиков сохранялись в энергонезависимой памяти контроллера (рис. 9,10).





Датчики после испытаний были покрыты черным осадком, который был легко удален.

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

Скорость коррозии проволоочного датчика, измеренная гравиметрическим методом, составила 8,44 мм/год (Таблица 3).

Средняя скорость коррозии спирального датчика, измеренная системой, составила 1,68 мм/год.

Средняя скорость коррозии спирального датчика, измеренная гравиметрическим методом, составила 1,88 мм/год (Таблица 3).

На рис. 11, 12 представлен вид экрана SCADA.

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% для проволоочного датчика и 10,6% для спирального датчика. В обоих случаях погрешность измерений не превысила допустимых значений, указанных в Техническом описании и инструкции по эксплуатации 421457.061 ТО пункт 2 «Технические характеристики».

Таблица 1

Результаты измерений скорости коррозии проволочного датчика,  
полученные с помощью Системы

№№ пп	Скорость коррозии, измеренная Системой в течение 1 ч, мм/год	Среднее значение скорости коррозии, мм/год
1	4,91595	8,74
2	4,91229	
3	4,80024	
4	4,68401	
5	4,62837	
6	4,58893	
7	4,51292	
8	4,55471	
9	4,58919	
10	4,60852	
11	4,68218	
12	4,75871	
13	4,86684	
14	4,96009	
15	5,16095	
16	5,26725	
17	5,31009	
18	5,588	
19	5,82255	
20	6,01584	
21	6,34129	
22	6,60091	
23	6,7545	
24	7,03032	
25	7,22883	
26	7,42263	
27	7,56838	
28	7,78386	
29	7,98577	
30	8,13961	
31	8,28379	
32	8,47055	
33	8,61812	
34	8,74558	
35	8,9198	
36	9,07338	
37	9,21626	
38	9,32021	
39	9,4687	
40	9,49051	
41	9,5451	
42	9,74113	
43	9,86337	
44	10,1123	
45	10,2755	
46	10,3668	
47	10,5389	
48	10,6434	
49	10,8145	
50	10,9702	
51	11,1063	
52	11,2326	
53	11,3702	
54	11,4937	
55	11,5798	
56	11,7745	
57	11,9102	
58	12,1433	
59	12,2434	
60	12,3706	
61	12,5038	
62	12,6481	
63	12,8153	
64	12,8325	
65	12,8675	
66	13,1611	
67	13,1491	
68	13,2641	
69	13,4803	
70	13,6161	

Таблица 2

Результаты измерений скорости коррозии спирального датчика,  
полученные с помощью Системы

№№ пп	Скорость коррозии, измеренная Системой в течение 4 ч, мм/год	Среднее значение скорости коррозии, мм/год
1	1,93617	1,68
2	1,53868	
3	1,51949	
4	1,43725	
5	1,2776	
6	1,21964	
7	1,36663	
8	1,21755	
9	1,558	
10	1,86646	
11	1,53241	
12	2,66354	
13	1,94662	
14	1,87978	
15	1,96267	
16	1,96032	

Таблица 3

Результаты гравиметрических измерений

Датчик	Масса до испытаний $m_1$ , г	Масса после испытаний $m_2$ , г	Убыль массы $\Delta m$ , г	Площадь поверхности $s$ , $m^2$	Время испытаний $\tau$ , ч	Скорость коррозии, $г/м^2ч$	Скорость коррозии, мм/год
ДКП	0,3980	0,2405	0,1575	$2,85 \cdot 10^{-4}$	72	7,67	8,44
ДКС	3,8031	3,7412	0,0619	$5,04 \cdot 10^{-4}$	72	1,71	1,88

Скорость коррозии, полученная на проволочном датчике и скорость коррозии, полученная на спиральном датчике, отличаются. Это связано с различной гидродинамикой на поверхности датчиков. При этом данные о скорости коррозии, полученные на спиральном датчике (1,7 мм/год), близки к данным, полученным на плоских образцах (1,5 - 2,0 мм/год).

#### 4.Выводы

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

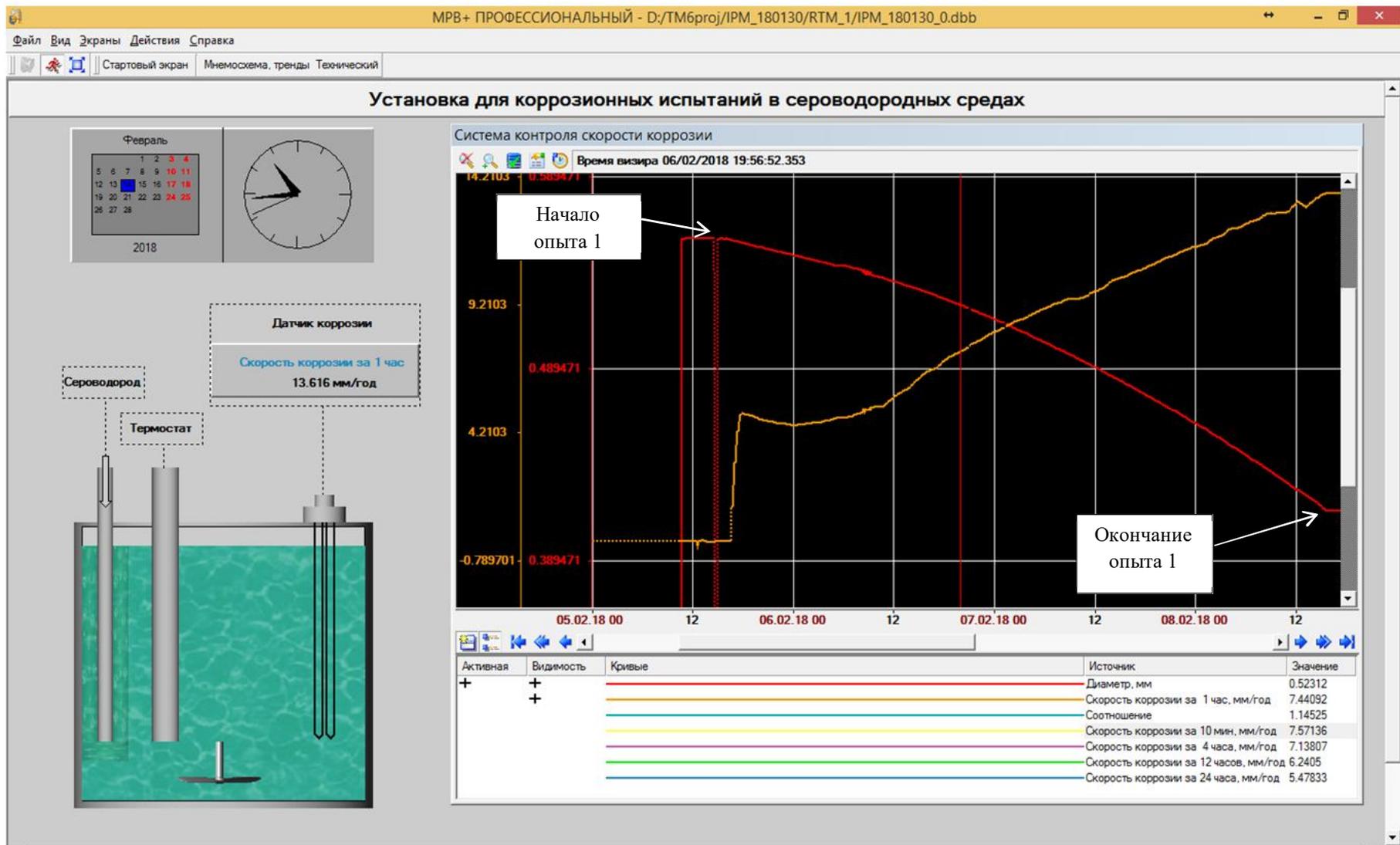


Рис.11 Вид экрана SCADA, проволоочный датчик

## Установка для коррозионных испытаний в сероводородных средах

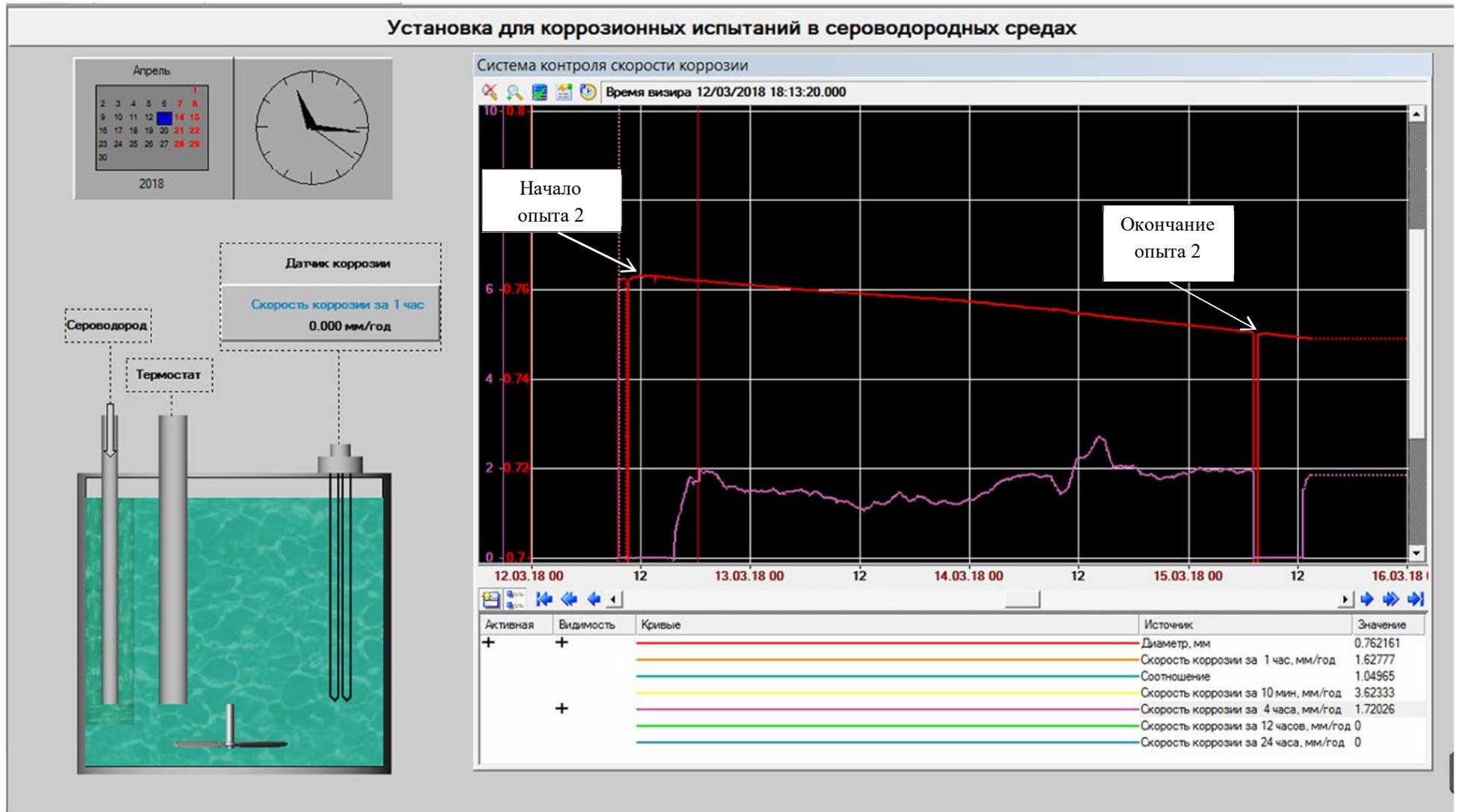


Рис.12 Вид экрана SCADA, спиральный датчик

Зависимости, используемые в Системе для расчета скорости коррозии

### 1. Проволочный датчик коррозии

Диаметр измерительной части  $d_{\text{изм}}$  определяется по формуле:

$$d_{\text{изм}} = \frac{d_{\text{эт}}}{\sqrt{P}},$$

где  $d_{\text{эт}}$  – диаметр эталонной части, мм;

$P$  – соотношение сопротивлений измерительной и эталонной части датчика коррозии.

Скорость коррозии измерительной части круглого сечения определяется по формуле:

$$K = \frac{\Delta d}{2\Delta t}, \text{ мм/год,}$$

где:  $\Delta d = d_{\text{изм1}} - d_{\text{изм2}}$  - изменение диаметра за время  $\Delta t$  в результате коррозии, мм;

2 - коэффициент, учитывающий утончение проволоки с обеих сторон;

$\Delta t$  - промежуток времени (10 мин, 1 ч, 4 ч, 12 ч, 24 ч), за который необходимо рассчитать скорость коррозии, год.

### 2. Спиральный датчик коррозии

Толщина измерительной части  $h_{\text{изм}}$  рассчитывается по формуле:

$$h_{\text{изм}} = \frac{h_{\text{эт}}}{P},$$

где  $h_{\text{эт}}$  – толщина эталонной части, мм;

$P$  – соотношение сопротивлений измерительной и эталонной части датчика коррозии.

Скорость коррозии при этом определяется по формуле:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t}, \text{ мм/год,}$$

где:  $\Delta h = h_{\text{изм1}} - h_{\text{изм2}}$  - изменение толщины за время  $\Delta t$  в результате коррозии, мм;

$\Delta t$  - промежуток времени (10 мин, 1 ч, 4 ч, 12 ч, 24 ч), за который необходимо рассчитать скорость коррозии, год.



МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ТОРГОВЛИ  
УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ЛУГАНСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО- ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»  
(ГП «ЛУГАНСКСТАНДАРТМЕТРОЛОГИЯ»)

**АТТЕСТАТ № РЬ 38-012 -15**

На программно-технический комплекс

**«Система контроля скорости коррозии».**

(наименование испытательного оборудования)

заводской номер 001, изготовлен

**ООО НТП «ЕКОР» г.Северодонецк**

(наименование предприятия изготовителя)

принадлежащий **ООО НТП « ЕКОР» г.Северодонецк**

наименование предприятия

На основании результатов метрологической аттестации,  
проведенной **ГП «ЛУГАНСКСТАНДАРТМЕТРОЛОГИЯ»**

(наименование организации)

в связи с метрологической аттестацией программно-технического  
комплекса **«Система контроля скорости коррозии»**

( чем обусловлено проведение аттестации)

« 30 » декабря 2015 г. установлено,

что программно-технический комплекс:

**«Система контроля скорости коррозии»** соответствует требованиям  
нормативной документации (Программа и методика метрологической аттестации  
ПМА 421457.061) и допускается к применению.

Срок действия аттестата

**« 30 » декабря 2016 г.**

Генеральный директор



О.В. Гурко

м .п.