НПЦ САМАРА

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Электрохимические методы контроля различных систем антикоррозионной защиты

Веревкин Александр Григорьевич,
Директор по развитию, к.х.н.

Электрохимические методы контроля

Методика испытаний ингибиторов коррозии с использованием многоэлектродной ячейки

Оперативная оценка эффективности ингибиторов коррозии (**ИК**).
Результаты уже рассматриваются добывающими НК как основа для внедрения метода экспресс-оценки эффективности ИК — в качестве альтернативы/дополнения к методу по ГОСТ Р 9.905-2007.

1



Электрохимическая ячейка высокого давления (**ЭЯВД**) для оценки качества внутренних антикоррозионных покрытий НКТ

Возможность отслеживания изменений параметров покрытия:
- скорость коррозии (мкм/год)
- появление продуктов коррозии под покрытием
- потеря барьерных свойств покрытия

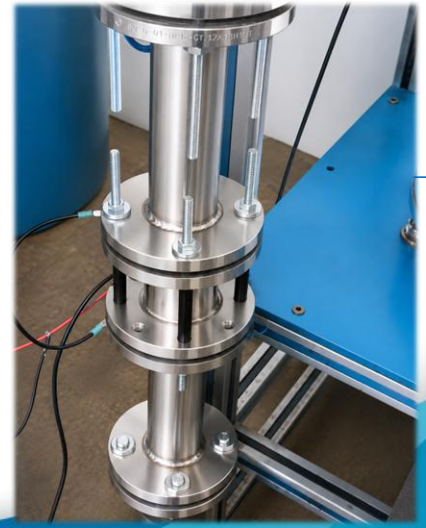
2



Устройство мониторинга состояния внутренних антикоррозионных покрытий трубопроводов (применяется на действующих трубопроводах)

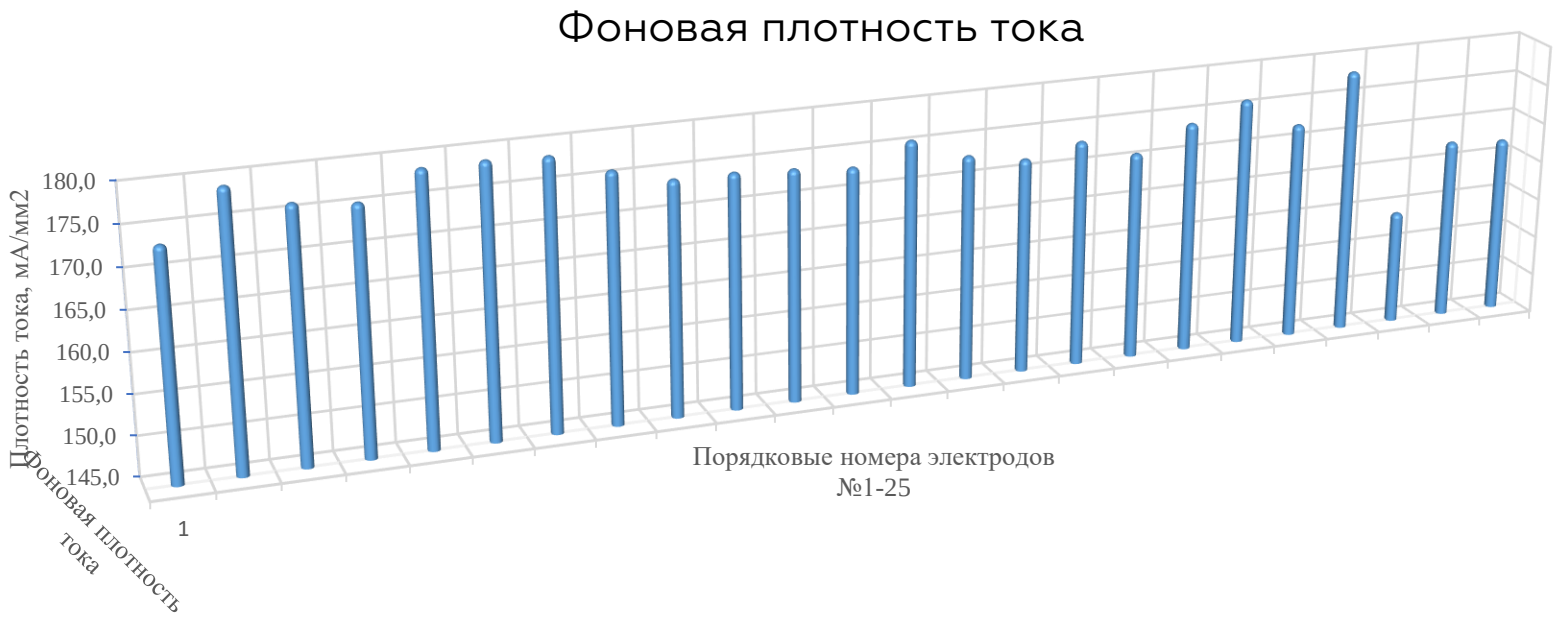
Оценка состояния покрытия - электрохимическая импедансная спектроскопия и поляризационные кривые. Методы позволяют контролировать изменение барьерных свойств и развитие подпленочной коррозии. Прототип устройства успешно протестирован на циркуляционном стенде

3



Готовы выходить на ОПИ!

Результаты проведения испытаний

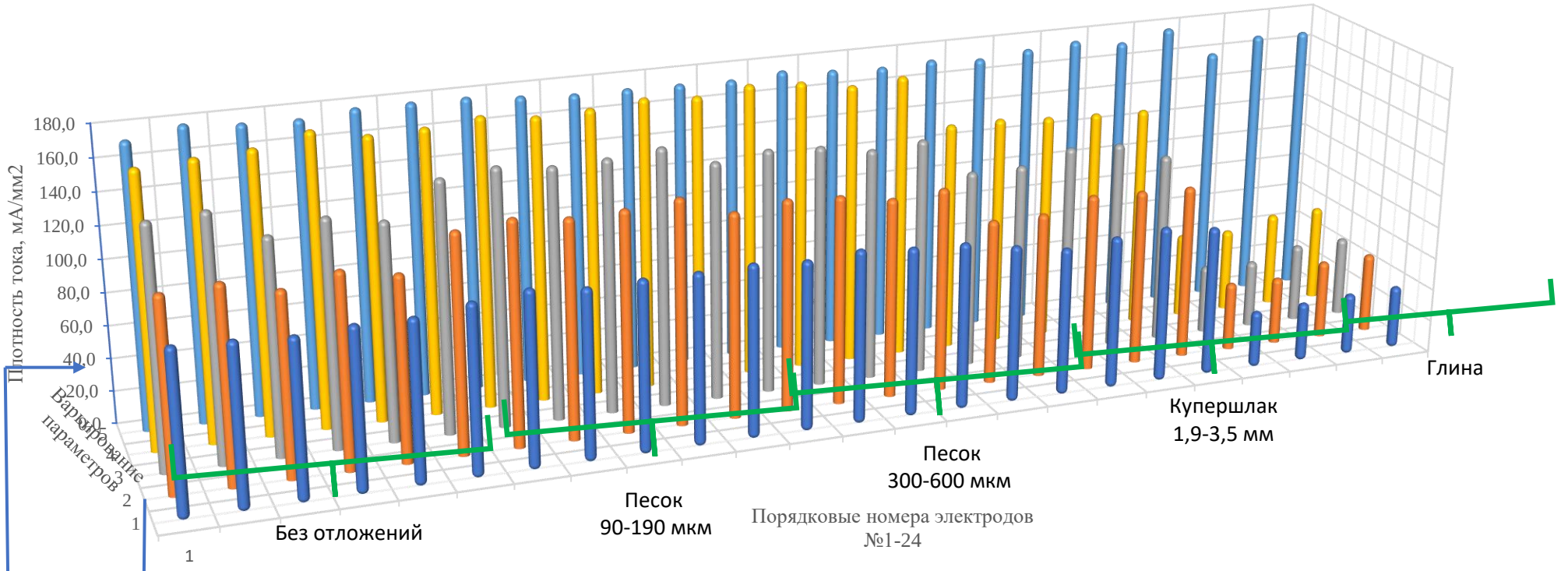


Фоновая скорость коррозии зависит от нескольких факторов, и является стохастическим процессом:

- **Неоднородность материалов:** разные участки одного и того же материала могут иметь разные уровни коррозионной устойчивости.
- **Электрохимические реакции:** эти реакции могут происходить с различной интенсивностью в зависимости от условий.
- **Механические нагрузки:** нагрузки и напряжения могут изменяться, влияя на коррозионные процессы.

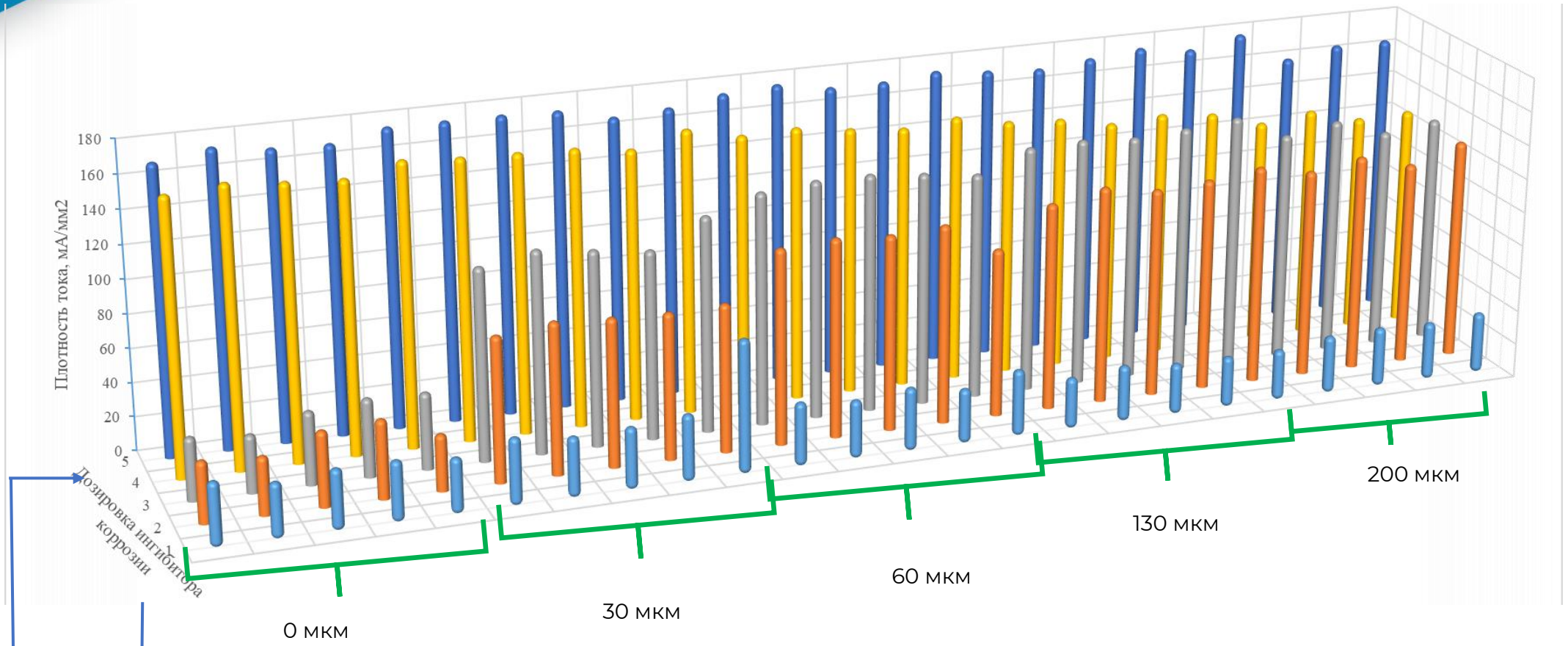
Результаты проведения испытаний (электроды без продуктов коррозии)

Плотность тока в зависимости от изменения параметров



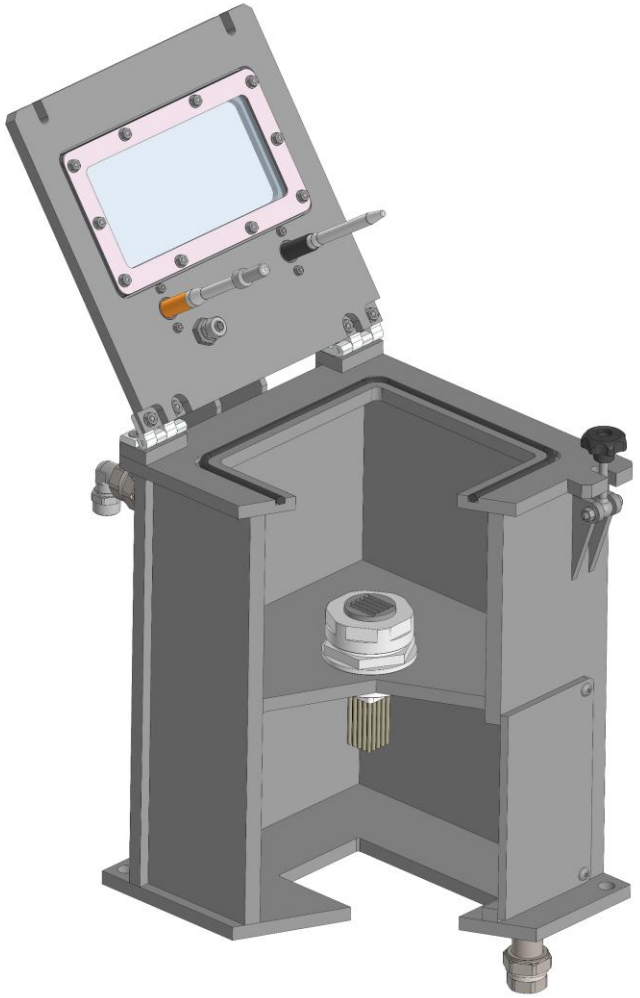
1 - плотность тока; дозировка ИК - 2500 мг/л;
2 - плотность тока; дозировка ИК - 125 мг/л;
3 - плотность тока; исходная дозировка ИК - 25 мг/л;
4 - плотность тока; без ИК;
5 - плотность тока (электрод без отложений и без добавления ингибитора).

Результаты проведения испытаний (Зонирование продуктов коррозии)



1 - плотность тока; дозировка ИК - 500 мг/л;
2 - плотность тока; дозировка ИК - 125 мг/л;
3 - плотность тока; исходная дозировка ИК - 25 мг/л;
4 - плотность тока; без ИК;
5 - плотность тока (электрод без продуктов коррозии и без добавления ингибитора).

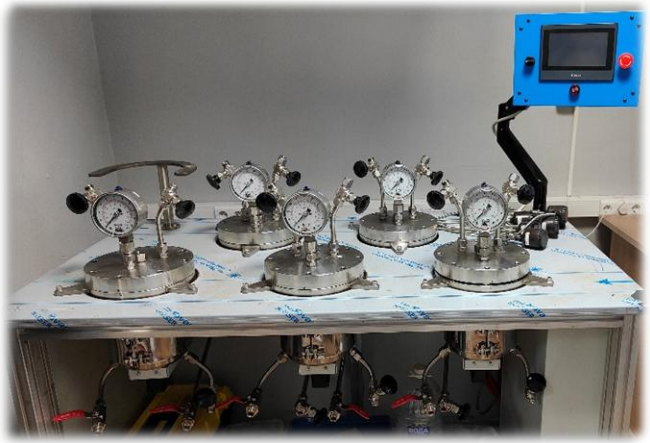
Преимущества многоэлектродной ячейки



- ✓ Способность оценивать влияние различных предварительных обработок отдельных электродов – шероховатость, степень загрязнения, наличие коррозионных поражений

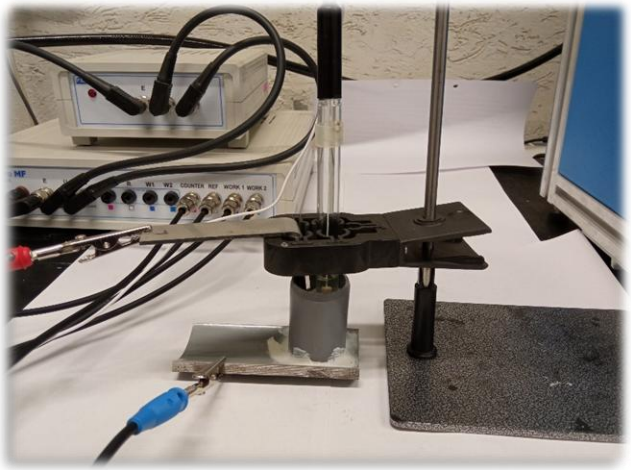
- ✓ Путем испытаний подгрупп электродов с одинаковой предварительной обработкой (глубина коррозионного поражения, состав продуктов коррозии) в идентичных условиях можно легко выявить любое статистическое изменение скорости локализованной коррозии, не прибегая к обширным повторяющимся испытаниям, как при использовании традиционных методов.

Электрохимическая ячейка высокого давления для испытаний антикоррозионных защитных покрытий, нанесенных на внутреннюю поверхность НКТ



Метод автоклавных испытаний

+



Классическая электрохимическая ячейка

=



Электрохимическая ячейка высокого давления

Схема проведенных исследований

АВТОКЛАВНОЕ ИСПЫТАНИЕ ПОКРЫТИЯ



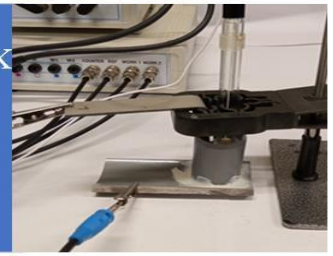
ОДИНАКОВЫЕ УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Давление: 80атм(P_{H2S}=10атм; P_{N2}=70атм)
Температура: 90ºС
Среда 5% NaCl

ИСПЫТАНИЕ НКТ С ПОКРЫТИЕМ НА ЭЯВД



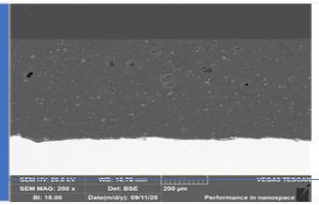
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ФРАГМЕНТАХ НКТ С ПОКРЫТИЕМ ДО И ПОСЛЕ ВЫДЕРЖКИ В АВТОКЛАВЕ



ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДГЕЗИИ ДО И ПОСЛЕ АВТОКЛАВНОГО ИСПЫТАНИЯ



ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ДО И ПОСЛЕ АВТОКЛАВНОГО ИСПЫТАНИЯ

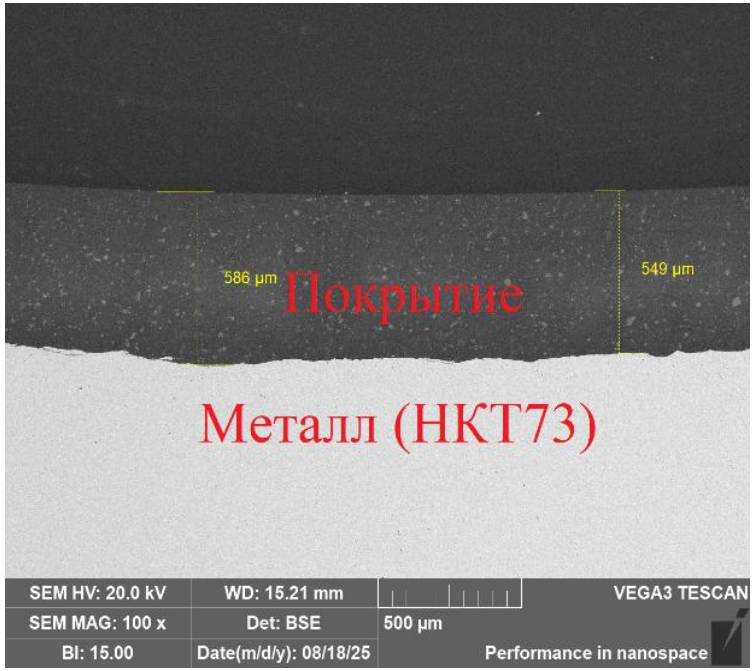


ПРИМЕНЕНИЕ «ЭЯВД» И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЯ «in situ»

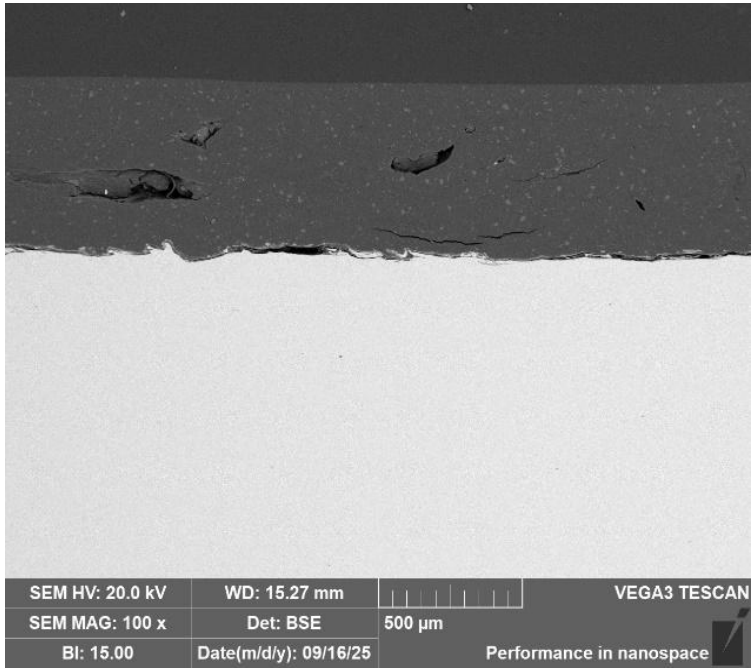


СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

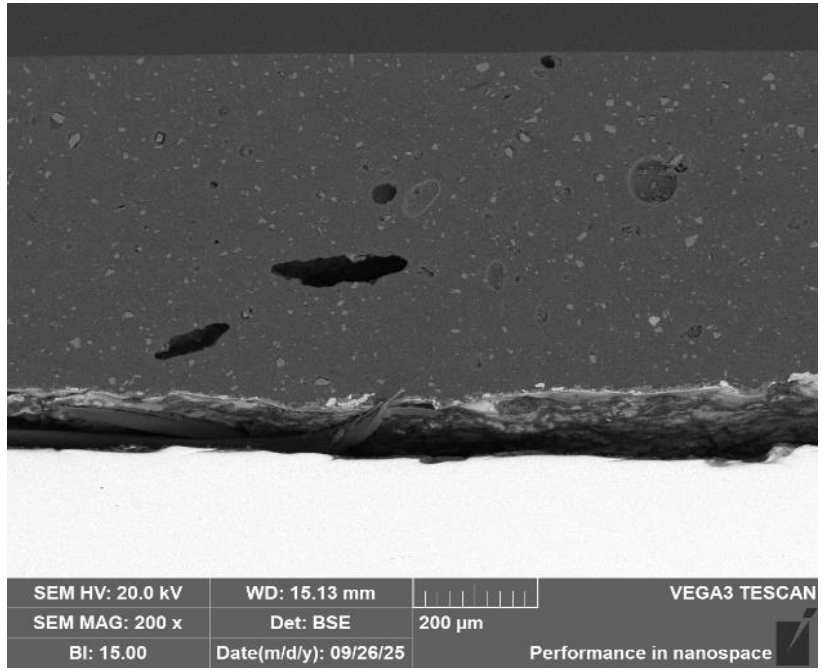
Изучение микроструктуры покрытий после различных по продолжительности выдержек в автоклаве



Исходное состояние покрытия



Покрытие после 20 суток выдержки в автоклаве



Покрытие после 30 суток выдержки в автоклаве

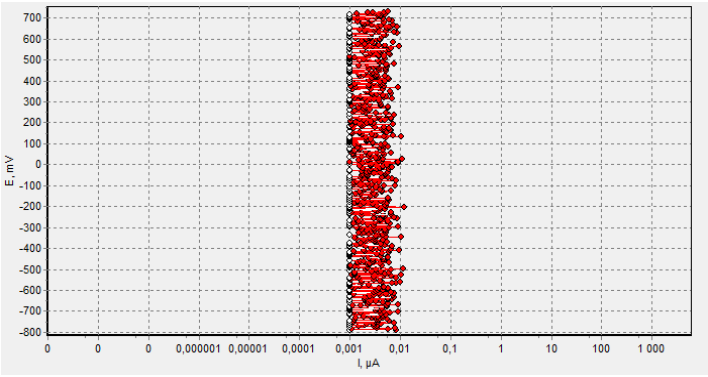
Изучение адгезии покрытий после различных по продолжительности выдержек в автоклаве

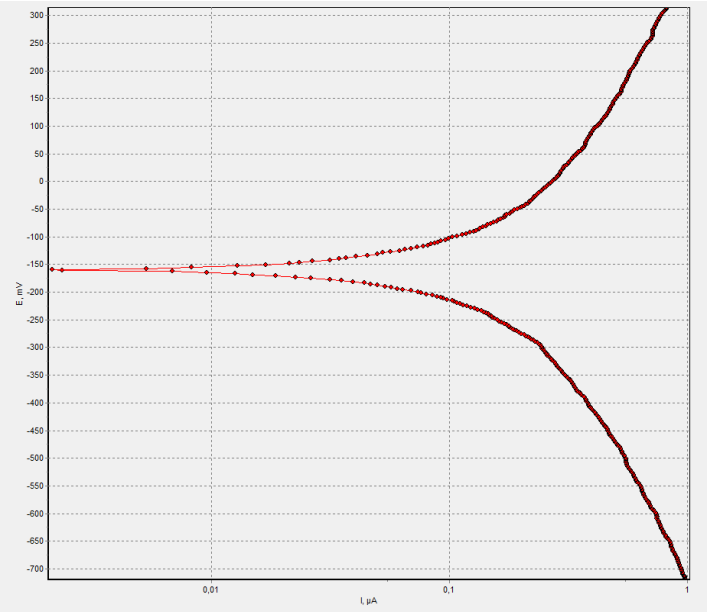


Маркировка образца	Номер «грибка»	Площадь заготовки (А), мм^2	Разрывное усилие, кН	Прочность при отрыве, МПа	Характер разрушений*	Среднее значение прочности при отрыве, МПа
Покрытие в исходном состоянии	1	318,25	5,844	18	Y-100	19МПа
	2		6,919	22	Y-100	
	3		5,281	17	Y-100	
	4		6,083	19	Y-100	
	5		5,711	18	Y-100	
	6		5,339	17	Y-100	
Покрытие после 10 суток в автоклаве (Т=90ºС, 10 атм H_2S+70атм N_2, 5% NaCl)	1	318,25	0,625	2	AB-100	2МПа
	2		0,547	2	AB-100	
	3		0,683	2	AB-100	
	4		0,718	2	AB-100	
	5		0,533	2	AB-100	
	6		0,644	2	AB-100	
Покрытие после 20 суток в автоклаве (Т=90ºС, 10 атм H_2S+70атм N_2, 5% NaCl)	1	318,25	0,245	1	AB-100	2МПа
	2		0,655	2	AB-100	
	3		0,744	2	AB-100	
	4		0,502	2	AB-100	
	5		0,643	2	AB-100	
	6		0,517	2	AB-100	
Покрытие после 30 суток в автоклаве (Т=90ºС, 10 атм H_2S+70атм N_2, 5% NaCl)	1	318,25	0	0	-	0МПа Отслоение покрытия
	2		0	0	-	
	3		0	0	-	
	4		0	0	-	
	5		0	0	-	
	6		0	0	-	

** Y – когезионное разрушение слоя клея, A/B – адгезионное разрушение между окрашиваемой поверхностью и первым слоем покрытия*

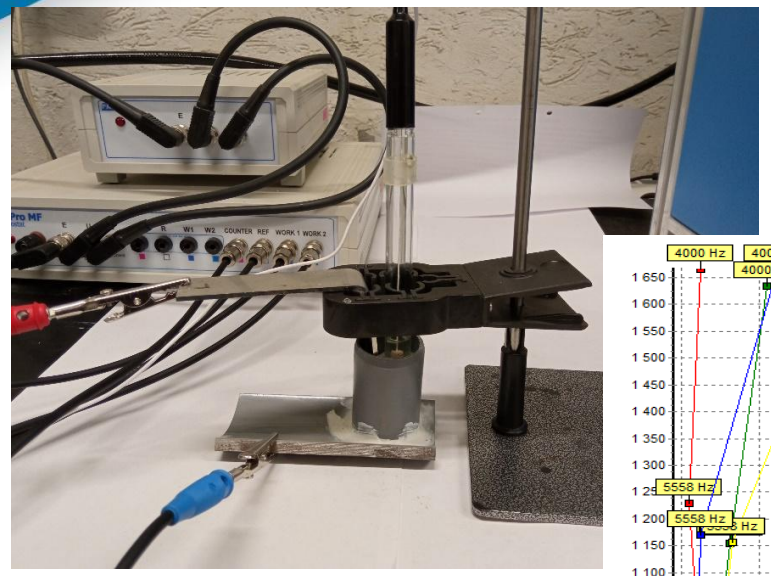
Сравнение кривых Тафеля, полученных на классической трёхэлектродной ячейке и на ЭЯВД

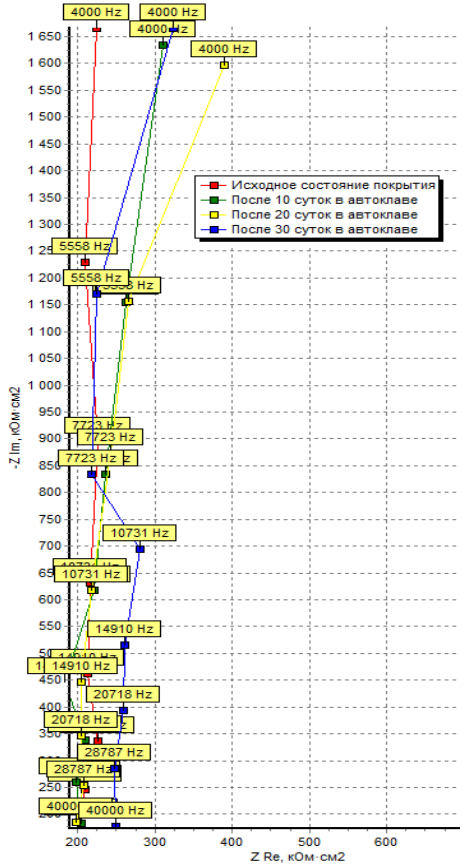




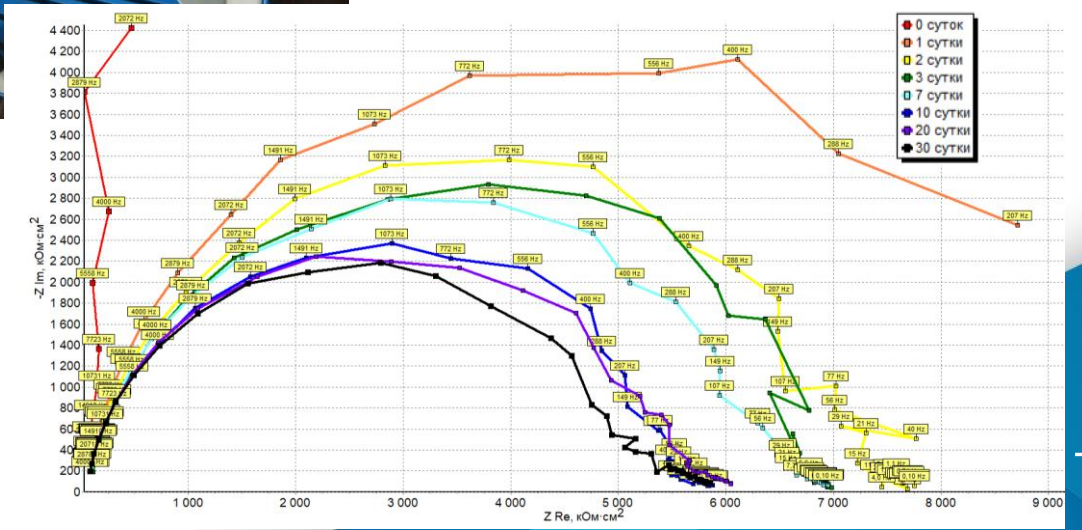
Продол-жительность испытания, сут	Плотность тока коррозии i_0, нА/см^2	Потенциал коррозии $E_{корр.}$, мВ	Поляризационное сопротивление, $R_{пол.}$, МОм·см^2	Скорость коррозии, нм/год
0	0	67	-	0
5	0,243	-172,0	94,454	2,848
10	0,382	-157,4	77,815	4,483
15	0,369	-145,8	79,392	4,324
20	0,507	-134,7	73,983	5,946
25	1,950	-129,6	13,174	22,878
30	2,004	-128,7	12,782	23,506

Сравнение диаграмм, полученных на классической трёхэлектродной ячейке и на ЭЯВД

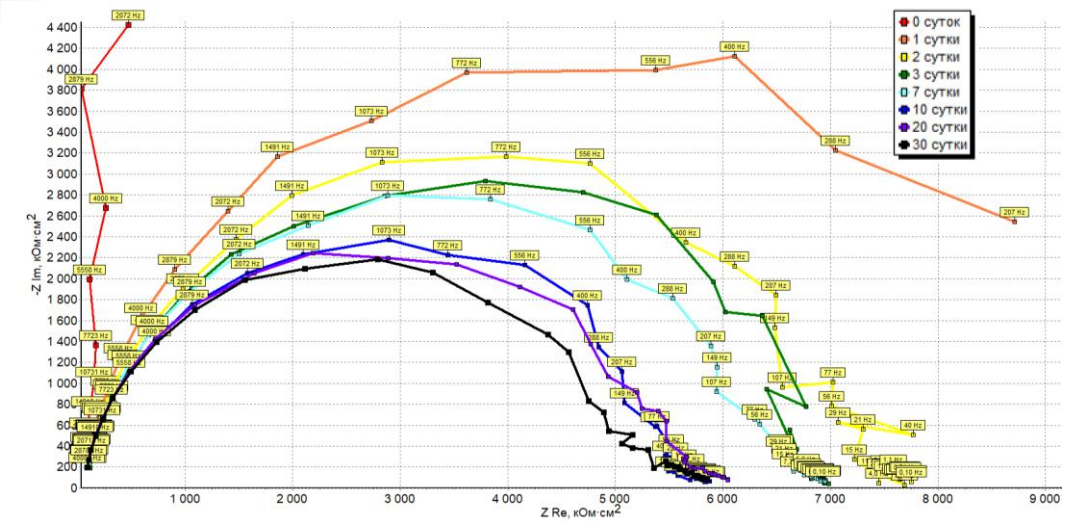


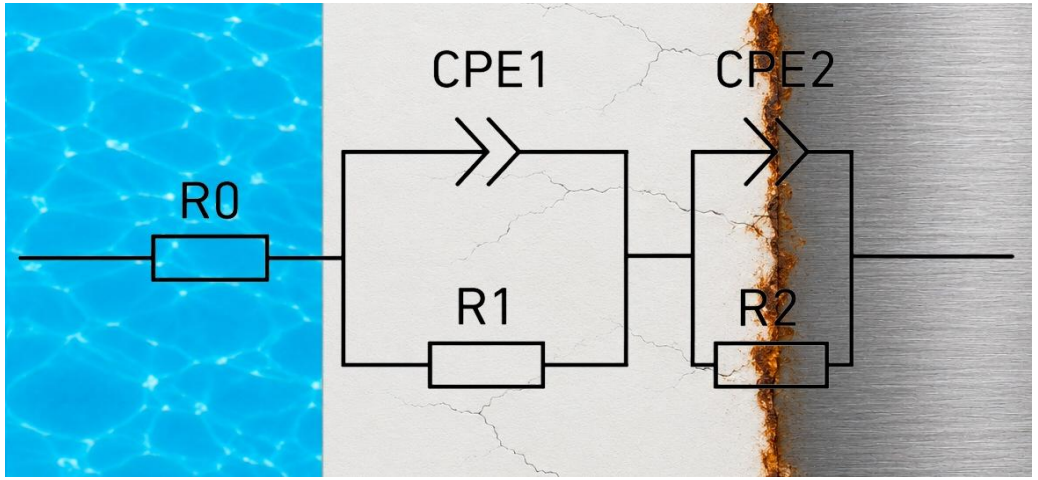






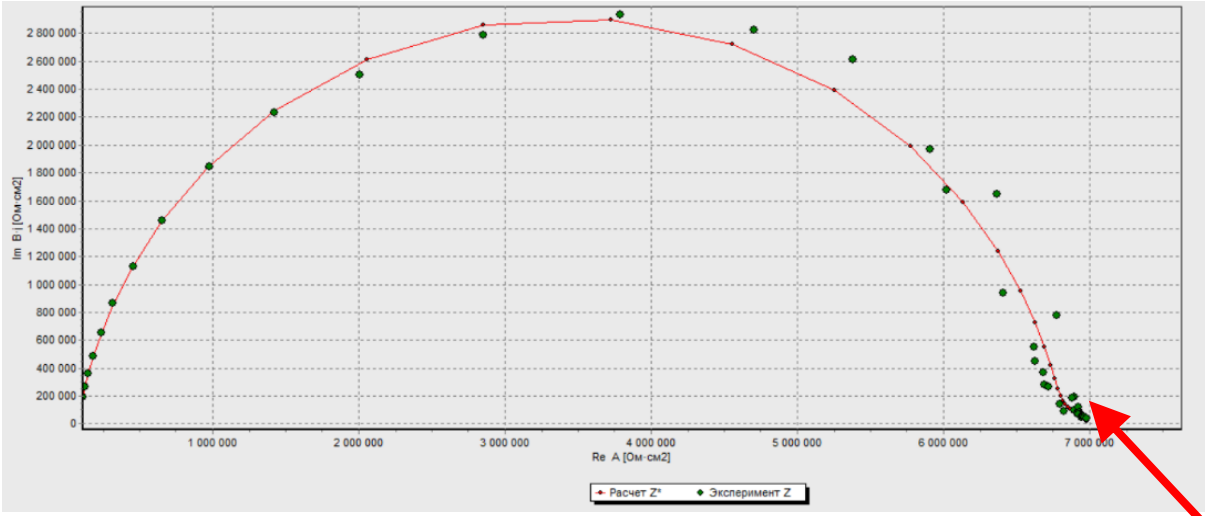
ЭЯВД, ЭИС и метод эквивалентных схем



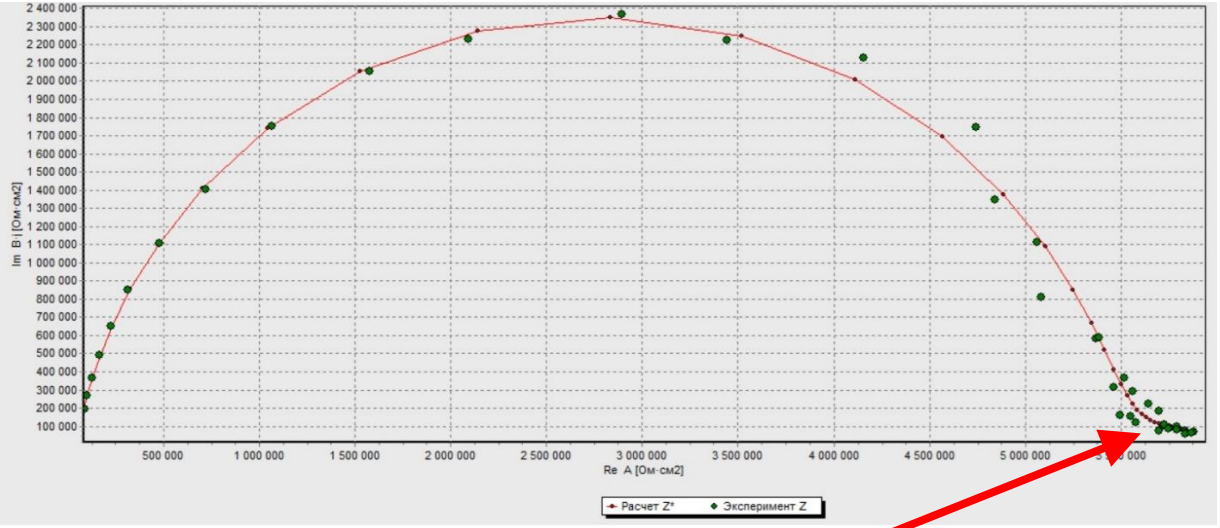


Продол-жительность испытания, сут	R_1, МОм·см²	CPE1		R_2, кОм·см²	CPE2		Погреш-ность, %
		Q_1, Ом$^{-1}$·с^n·см$^{-2}$	n_1		Q_2, Ом$^{-1}$·с^n·см$^{-2}$	n_2	
1	9,70	$6{,}22\times10^{-11}$	0,893	-	-	-	3,24
3	6,72	$6{,}07\times10^{-11}$	0,908	188	$7{,}61\times10^{-7}$	0,717	1,11
7	6,10	$5{,}39\times10^{-11}$	0,918	817	$1{,}06\times10^{-7}$	0,497	0,68
10	5,32	$5{,}90\times10^{-11}$	0,911	673	$4{,}84\times10^{-7}$	0,339	0,82
15	4,94	$5{,}71\times10^{-11}$	0,916	926	$1{,}37\times10^{-7}$	0,438	0,65
20	5,03	$5{,}81\times10^{-11}$	0,914	1072	$1{,}00\times10^{-7}$	0,428	0,87
25	4,90	$6{,}32\times10^{-11}$	0,905	969	$1{,}98\times10^{-7}$	0,406	0,48
30	4,86	$6{,}06\times10^{-11}$	0,909	1012	$1{,}11\times10^{-7}$	0,487	0,73

Обнаружение начала образования подпленочной коррозии



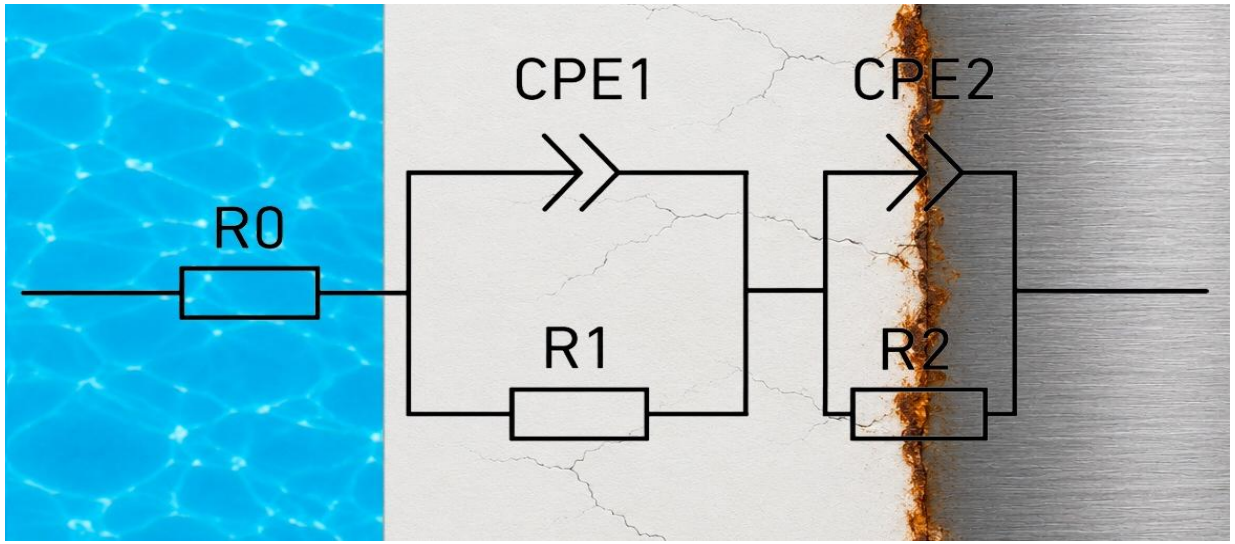
3 суток

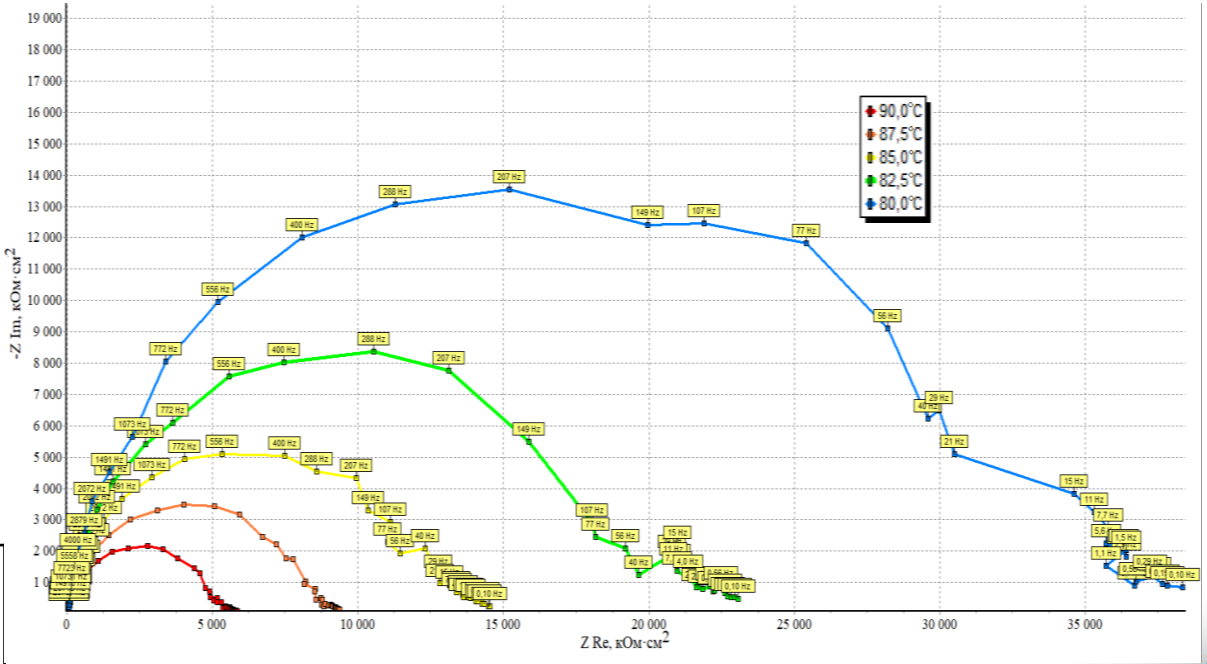


10 суток

Формирование продуктов коррозии и их дальнейший рост

Изучение влияния температуры на импеданс покрытия. «Восстановление» барьерных свойств при охлаждении





Температура °C	R_1, МОм·см²	CPE1		R_2, кОм·см²	CPE2		Погрешность, %
		Q_1, Ом$^{-1}$·с^n·см$^{-2}$	n_1		Q_2, Ом$^{-1}$·с^n·см$^{-2}$	n_2	
90,0	4,86	$6{,}06\times10^{-11}$	0,909	1012	$1{,}11\times10^{-7}$	0,487	0,73
87,5	8,03	$5{,}96\times10^{-11}$	0,904	1386	$9{,}65\times10^{-8}$	0,502	1,20
85,0	10,67	$4{,}69\times10^{-11}$	0,934	3809	$1{,}44\times10^{-8}$	0,557	1,34
82,5	18,48	$3{,}81\times10^{-11}$	0,947	5032	$3{,}65\times10^{-8}$	0,478	2,18
80,0	27,23	$4{,}22\times10^{-11}$	0,939	10338	$3{,}57\times10^{-9}$	0,662	2,28

Мониторинг состояния внутренних антикоррозионных покрытий в реальном трубопроводе



- ✓ Мониторинг состояния внутреннего покрытия трубопровода электрохимическими методами является перспективным направлением, позволяющим перейти от периодических испытаний к непрерывному контролю.
- ✓ Актуальная задача - разработка метода контроля состояния внутренних покрытий трубопровода.
- ✓ Ключевая проблема - создание технических решений для их реализации непосредственно на действующем трубопроводе.

Мониторинг состояния внутренних антикоррозионных покрытий в реальном трубопроводе



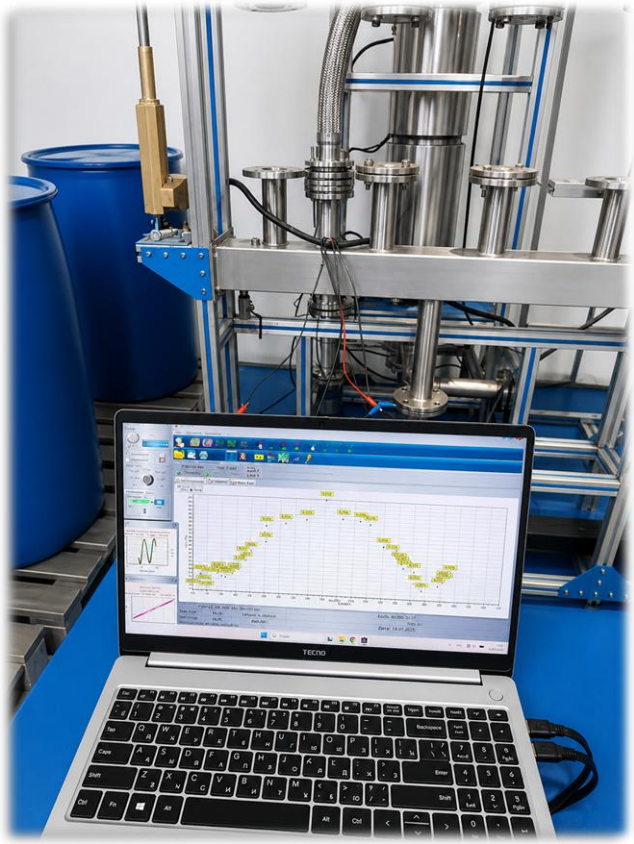
ЭЯВД

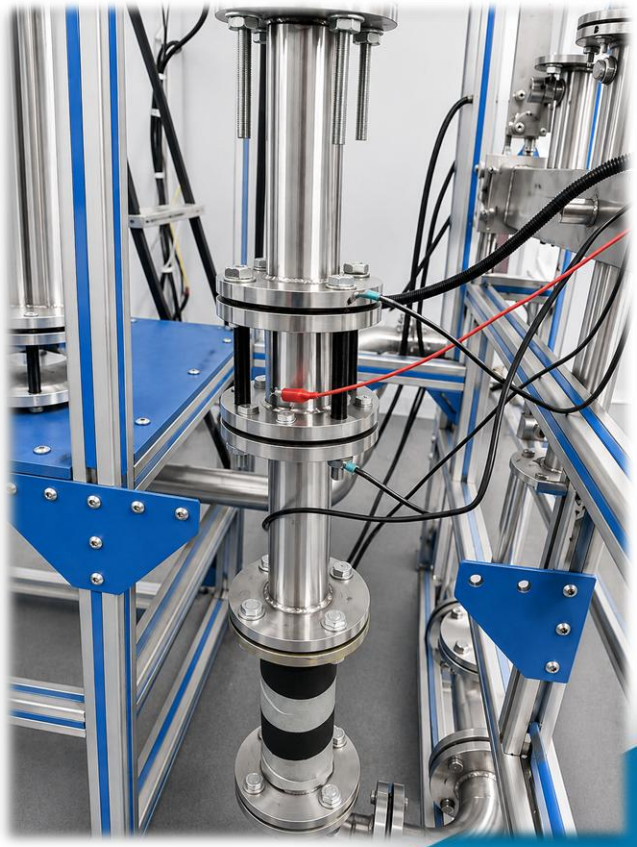


Устройство мониторинга состояния покрытия в трубопроводе (проточная ЭЯВД)

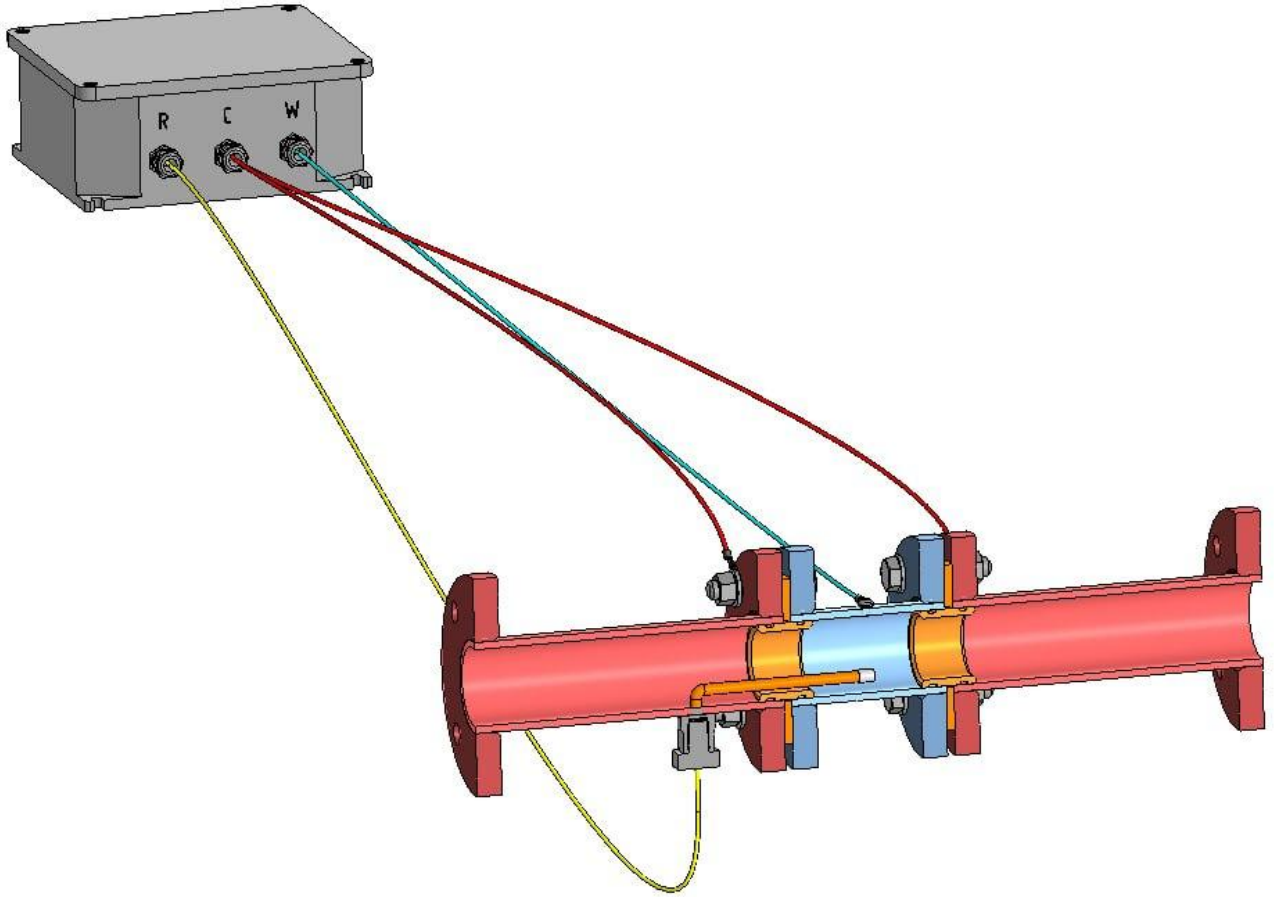
Мониторинг состояния внутренних антикоррозионных покрытий в реальном трубопроводе

- ✓ Проведение электрохимических измерений непосредственно во время эксплуатации трубопровода.
- ✓ Это позволяет отслеживать изменение защитных свойств покрытия в реальном времени, фиксировать начальные стадии деградации и принимать своевременные меры по предотвращению аварийных ситуаций.
- ✓ Такой подход открывает возможности для создания интеллектуальных систем мониторинга, обеспечивающих повышение надежности и срока службы трубопроводных систем.





Мониторинг состояния внутренних антикоррозионных покрытий в реальном трубопроводе

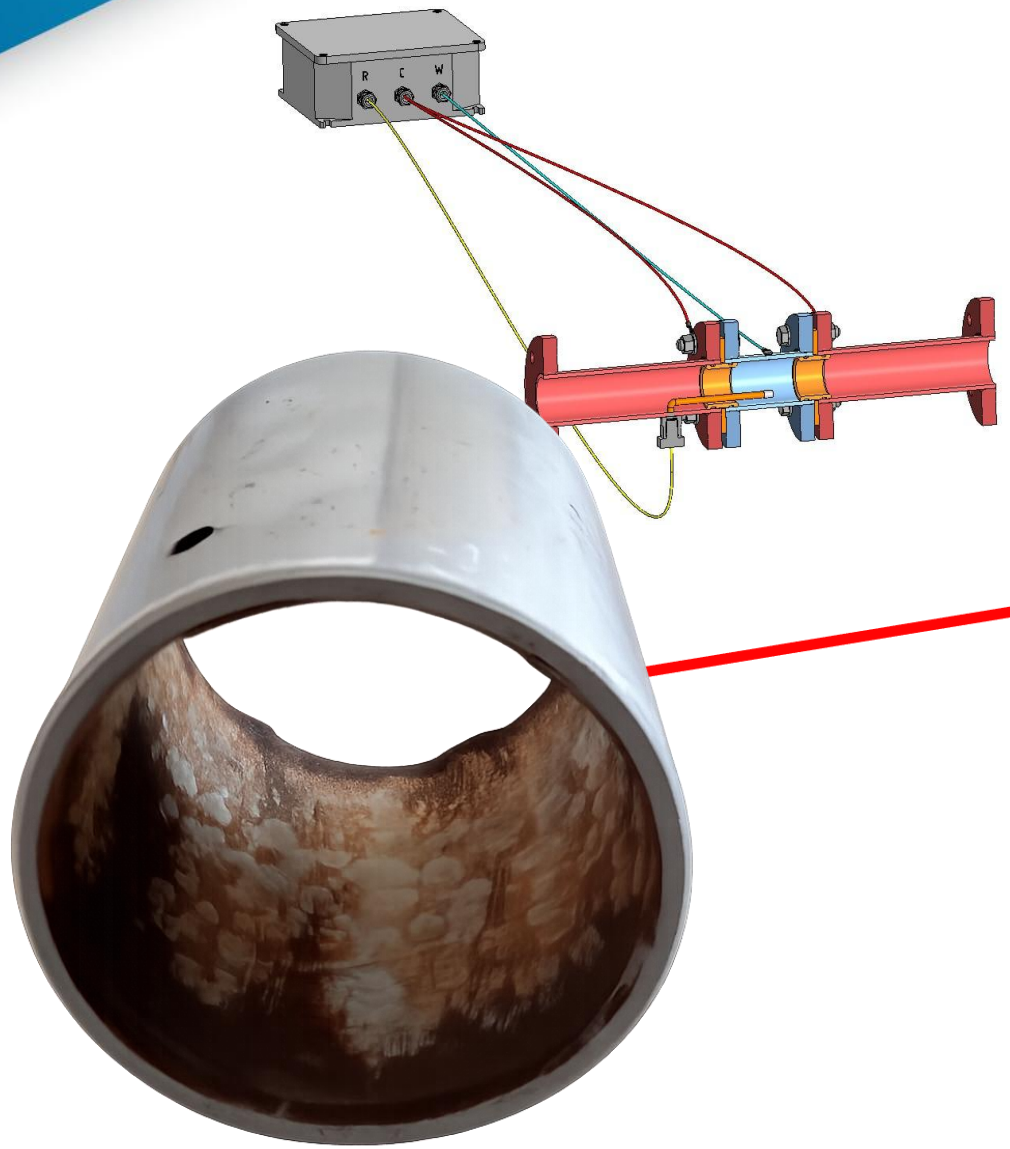


Изготовлен из стандартных элементов трубопровода:

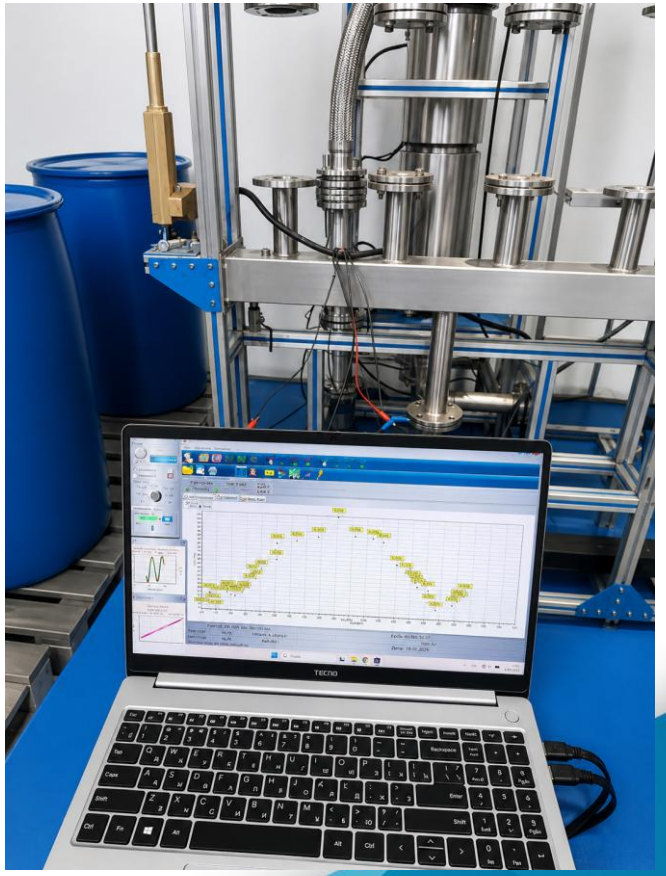
- катушки из нержавеющей стали (противоэлектрод),
- испытуемый образец с покрытием,
- втулки для защиты межтрубных соединений.

Электрод сравнения вносится непосредственно в катушку с покрытием.

Мониторинг состояния внутренних антикоррозионных покрытий в реальном трубопроводе







Электрохимические методы контроля

Разработана методика испытаний ингибиторов коррозии с использованием многоэлектродной ячейки.

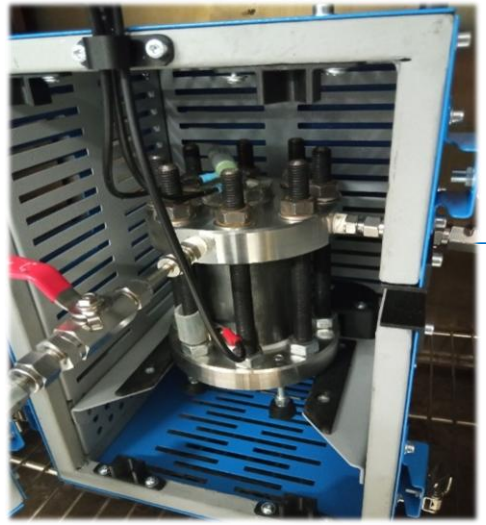
Приглашаем к оценке эффективности ИК передовыми методами!



1

«Электрохимическая ячейка высокого давления» (**ЭЯВД**) для оценки качества внутренних антикоррозионных покрытий НКТ.

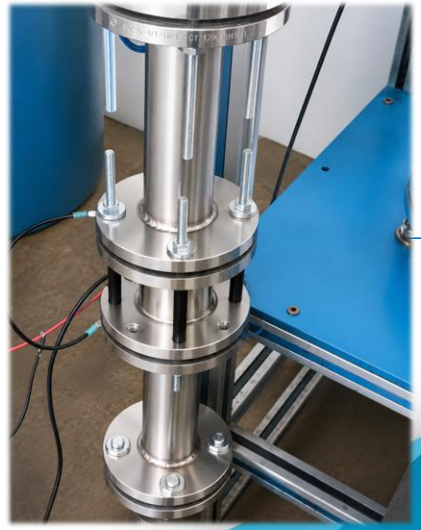
Данные испытания уже проводим для ряда производителей защитных покрытий – для предоставления результатов в ДО



2

Разработано устройство мониторинга состояния внутренних антикоррозионных покрытий трубопроводов (устройство применяется на действующих трубопроводах)

Приглашаем к совместной реализации ОПИ



3

Обсудим ваши потребности

и предложим оптимальное решение

Тел. +7 (846) 932-03-23
Сайт: www.npcsamara.ru
E-mail: office@npcsamara.ru

@NPCSAMARA