

АНО «ЦНИИКС»
ИНН 7707200582, КПП 772501001
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, стр. 5
Тел: (495) 955-40-12; факс: (495) 952-56-48
E-mail: cartec-com@mail.ru
www.cartec-com.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор АНО «ЦНИИКС»

Н.А. Поляков

« 18 » февраля 2013 г.



ОТЧЕТ ПО ДОГОВОРУ № 107-12

«Сравнительное определение защитной способности ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква- ОЭДФ-Zn по отношению к стали в системах водоснабжения и коррекционной обработки воды паровых котлов низкого давления»

Москва 2013

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
I. ВВЕДЕНИЕ	3
II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ	4
III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	10
3.1. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 20°C без перемешивания.....	13
3.2. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 20°C при перемешивания	15
3.3. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 75°C без перемешивания.....	17
3.4. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 75°C с перемешиванием.....	18
3.5. Автоклавные испытания в воде при 115°C.....	23
3.6. Обсуждение результатов испытаний	24
ВЫВОДЫ	26

I. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы

Целью работы является сравнительное определение защитной способности ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква– ОЭДФ-Zn» по отношению к стали в системах водоснабжения и коррекционной обработки воды паровых котлов низкого давления.

Содержание работы

1. Определение защитной способности ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква – ОЭДФ-Zn» в концентрациях 0,1%-1,0% по отношению к стали Ст3 в водопроводной воде при 25 и 75°C, pH 8,5-9,8, без деаэрации и с предварительной деаэрацией (нагрев до 100° C), последующим продуванием водной среды азотом, при перемешивании около 1м/с, продолжительность испытаний - 240 ч. Испытания должны проводиться в зависимости от времени и температуры испытаний, концентрации ингибиторов.
2. Определение защитной способности ингибиторов по отношению к стали Ст3 в воде при температуре 115°C путем проведения статических автоклавных испытаний, имитирующих коррозионное воздействие при подпитке котлов умягченной или обессоленной водой в присутствии ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква – ОЭДФ-Zn» в концентрациях 0,1-1,0%.
3. Результаты испытаний -расчет защитного эффекта ингибиторов по данным ускоренных испытаний электрохимическим методом линейного поляризационного сопротивления (ЛПС) и гравиметрии (по ГОСТ 9.514-99), оценка степени локализации коррозионных процессов – по данным определения показателя питтинга, микроскопического исследования поверхности. Оформление лабораторного заключения об эффективности ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква – ОЭДФ-Zn», утвержденного ЦНИИКС.

II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Состав воды, применявшейся для коррозионных испытаний, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества московской воды для проведения коррозионных испытаний (по данным ОАО «Мосводоканал»)

№ п/п	Показатели качества	Единицы измерения	Норматив СанПиН 2.1.4.1074-01	Среднее содержание в питьевой воде
Органолептические показатели				
1	Цветность	град.	20	6
2	Мутность	мг/л	1,5	0,3
3	Запах	балл	2	1-2
Обобщенные показатели				
4	Водородный показатель	ед. pH	6,0 - 9,0	7,2
5	Жесткость общая	°Ж	7,0	3,5
6	Окисляемость	мгО/л	5,0	3,1
7	Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1	<0,05
8	СПАВ анионн.	мг/л	0,5	<0,015
Неорганические вещества				
9	Кальций	мг/л	20-80 (ВОЗ)	46
10	Магний	мг/л	<50	11
11	Алюминий	мг/л	0,50	0,07
12	Барий	мг/л	0,1	0,034
13	Бор	мг/л	0,5	<0,04
14	Железо	мг/л	0,30	0,06
15	Кадмий	мг/л	0,001	<0,00001
16	Медь	мг/л	1,0	0,0026
17	Мышьяк	мг/л	0,05	<0,0005
18	Никель	мг/л	0,1	0,0006
19	Нитраты (по NO ₃ -)	мг/л	45	3,9
20	Ртуть	мг/л	0,0005	<0,0002
21	Свинец	мг/л	0,03	<0,0002
22	Селен	мг/л	0,01	<0,0002
23	Стронций	мг/л	7,0	0,14
24	Сульфаты	мг/л	500	33
25	Фториды	мг/л	1,5	<0,3
26	Хлориды	мг/л	350	16
27	Хром (6+)	мг/л	0,05	<0,01
28	Цианиды	мг/л	0,035	<0,01
Органические вещества				
29	Линдан	мг/л	0,002	<0,00001
30	ДДТ	мг/л	0,002	<0,00001
31	2,4 Д	мг/л	0,03	<0,0005
Вещества, присутствующие в воде в результате хлорирования				
32	Остаточный хлор, связанный	мг/л	-	0,71
33	Хлороформ	мг/л	0,2	0,01

После кипячения в течение 15 мин остаточный хлор в воде практически отсутствовал, концентрация растворенного кислорода составляла менее 0.1 мг/л.

Испытания проводились с использованием ингибитора «АКВА-Бинар» (далее *АБ*) (ТУ 2439-020—89819750-2012 с изм.1,) предоставленного ООО «Аква-Кемикал»(Россия, Санкт-Петербург), согласно рекомендациям которого «АКВА-Бинар» применяется в качестве реагента для коррекционной обработки воды при эксплуатации паровых котлов низкого давления (P до 0,7 кгс/см²), для предотвращения или ограничения коррозии металлов в системах горячего водоснабжения открытого и закрытого типа при температурном режиме до 115°C, в качестве ингибитора коррозии и биоцида в процессах добычи природного газа, в качестве ингибитора коррозии в гидравлических жидкостях и СОЖах в металлообработке, в процессах производства технических моющих средств, водорастворимых лакокрасочных материалов. Высокая эффективность препарата объясняется синергическим эффектом двух компонентов, входящих в состав, которые обеспечивают ингибирование коррозии по двум разным механизмам действия одновременно.

«АКВА-Бинар» представляет собой прозрачный водный раствор от бесцветного до светло- желтого цвета , в состав которого входит цинковый комплекс натриевых солей оксиэтилидендифосфоновой кислоты и бораты аминов, рН его составляет 8,5-10,5, плотность при 20°C 1,20 – 1,30.

«АКВА-Бинар» вводится в рецептуры в концентрации 0,1-1,0% весовых (оптимальная концентрация подбирается опытным путем).

В соответствии с целью работы также испытывалась защитная способность реагента «Аква – ОЭДФ-Zn» (ТУ 2439-005--75095515-2008 с изм.1, ООО «Аква-Кемикал»), который применяется в качестве ингибитора коррозии и солеотложений в теплотехнике, в качестве антинакипина промышленного назначения, для предотвращения или ограничения коррозии металлов в системах горячего водоснабжения открытого и закрытого типа

при температурном режиме до 130°C, в оборотных системах охлаждения. «Аква— ОЭДФ-Zn» представляет собой водный раствор оксиэтилидендифосфонато(4)-цинк динатриевой соли, внешний вид прозрачная жидкость от бесцветного до светло- желтого цвета, массовая доля основного вещества - не менее 25 % вес, pH 7-9, плотность при 20 °С 1,22 – 1,27. Продукт используется в соответствии с инструкциями РАО «ЕЭС России» и рекомендациями ОАО «ВТИ», г. Москва, по аналогии с другими серийно выпускаемыми цинковыми комплексами ОЭДФ (АФОН 230-23А и др.).

Испытания проводись в лаборатории высокотемпературных коррозионных испытаний ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина (рис.1). Испытания при температурах 20-75°C проводились в стеклянных стаканах объемом 1л, которые помещались в термошкаф СНОЛ, который поддерживал заданную температуру с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$ (рис. 2). Аэрация водных сред осуществлялась с помощью микрокомпрессоров, воздух в стаканы подавался по тефлоновым трубкам со стеклянным наконечником.



Рис. 1. Зал статических автоклавных испытаний ИФХЭ РАН

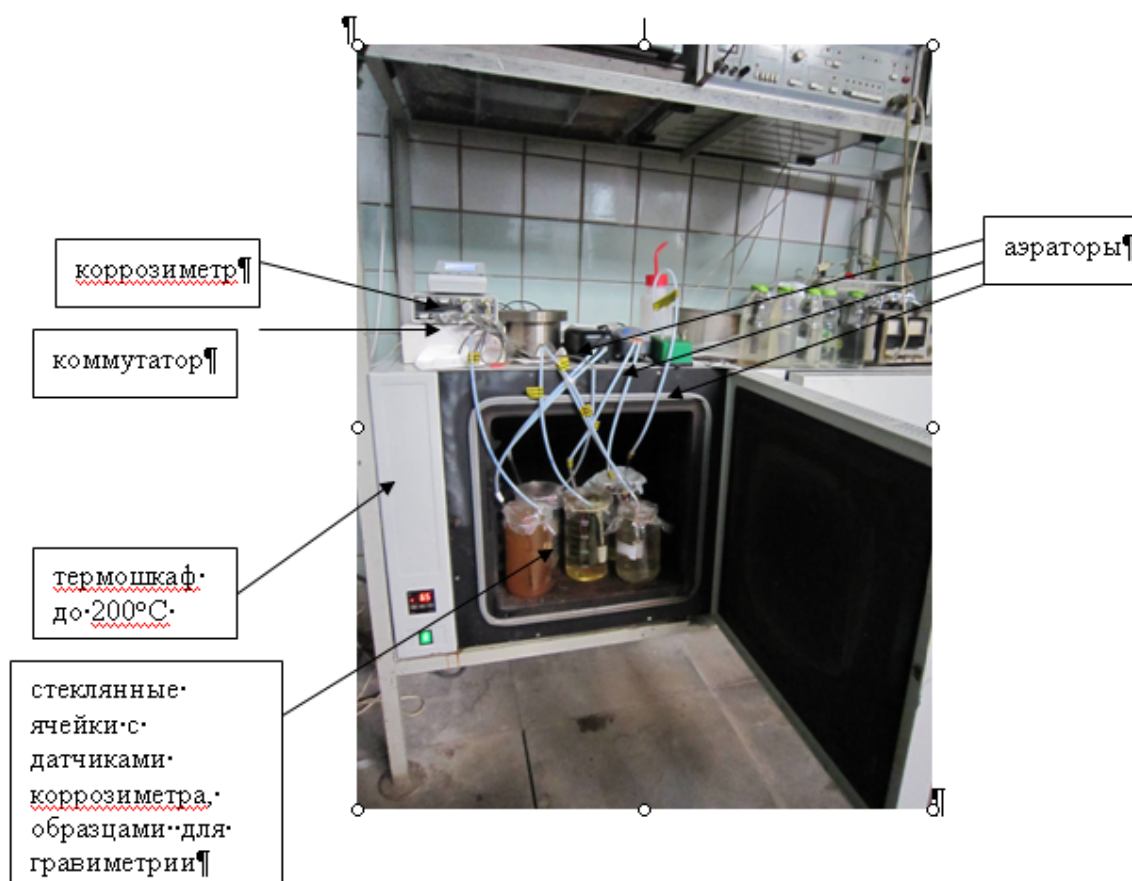


Рис.2. Оборудование для проведения коррозионно-электрохимических испытаний при температурах до 100°C

Для проведения гравиметрических коррозионных испытаний использовались плоские образцы из стали Ст3, имеющие размеры 25x50x2 мм (рис.3), которые после шлифовки и полировки, а также обезжиривания этанолом и сушки предварительно взвешивались на аналитических весах «Сарториус» (Швейцария) (рис.4) с точностью до 0,00001 г, далее монтировались на специальных держателях в стеклянных ячейках (стаканах) или в автоклавах из нержавеющей стали (рис.5). По окончании испытаний образцы промывались дистиллированной водой, протирались резиновым ластиком для удаления продуктов коррозии и марлей, смоченной этиловым спиртом, а затем сушились. При наличии плотных пленок продуктов коррозии они удалялись химическим методом в растворе 10%-ной серной кислоты, содержащей 1 г/л ИФХАН-55 при 20°C в течение 1-3 мин с учетом

поправки холостого опыта. По разнице масс образцов до и после испытаний рассчитывалась величина скорости коррозии K стали по формуле:

$$K = (m_o - m_l) / S \cdot \tau, \quad (1)$$

где K – скорость коррозии, г/м²• ч; m_o и m_l – масса образца до и после проведения эксперимента, г; τ – продолжительность испытаний, ч; S – площадь рабочей поверхности образца, м².



Рис.3. Внешний вид образцов для гравиметрии перед коррозионными испытаниями

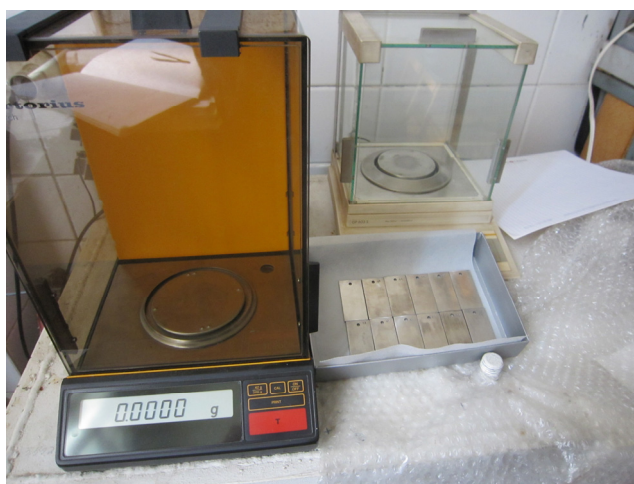


Рис. 4. Аналитические весы для гравиметрических испытаний



Рис.5. Стаканы для автоклавов и электрохимические трехэлектродные датчики для проведения автоклавных коррозионно-электрохимических испытаний в воде при 115°C



Рис.6. Измерение коррозионных показателей стали Ст3 при проведении автоклавных испытаний с помощью автоматического коррозиметра «Эксперт-004» с коммутатором

Определение величин показателей равномерной (K_n) и питтинговой коррозии (P) Ст3 также проводилось электрохимическими методами линейного поляризационного сопротивления (ЛПС) (по ГОСТ 9.514-99) и амперометрии нулевого сопротивления. Для этого использовались измерительные датчики в тефлоновом корпусе (рис.5) или аналогичные, меньшего размера, на резьбовые шпильки которых навинчивались по три одинаковых цилиндрических электрода из Ст3 длиной 40-50 и диаметром 3-5 мм, которые предварительно полировались до 8-9 класса, для каждого образца использоваться новая наждачная бумага. Далее образцы обезжиривались этиловым спиртом, и высушивались на воздухе. Измерительные датчики подключались к автоматическому универсальному коррозиметру «Эксперт-004» для измерений величин K_n и P с периодичностью 10-15 мин (рис.6). При проведении измерений датчики полностью погружались в емкости с водными средами. В эти же емкости помещались по 2-3 плоских образцов из Ст3 для гравиметрических испытаний.

Защитный эффект ингибиторов коррозии рассчитывался по формуле (2):

$$Z = (K_{n \text{ фон}} - K_{n \text{ инг}}) \times 100 / K_{n \text{ фон}} (\%), \quad (2)$$

где Z -защитный эффект ингибитора, %, $K_{n \text{ фон}}$ – скорость коррозии в фоновом растворе, $K_{n \text{ инг}}$ – скорость коррозии в ингибированном растворе.

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с целью работы проводилось определение скорости коррозии стали Ст3 и защитной способности ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в концентрациях 0,1%-1,0% по отношению к стали Ст3 в воде при температурах 20, 75°C и 115°C, pH 8,0 в условиях естественной аэрации (без перемешивания в открытой емкости), с перемешиванием путем продувания воздуха при расходе 100 мл/мин (при объеме раствора 1л), а также в герметичных колбах или автоклавах с предварительной деаэрацией, с последующим периодическим продуванием водной среды азотом, без перемешивания и при перемешивании магнитной мешалкой со скоростью

около 1м/с. Во всех случаях применялся предварительный нагрев водопроводной воды до кипения для удаления растворенных газов (углекислоты, кислорода и хлора) для стабилизации коррозионной среды.

Результаты определения скорости коррозии Ст3 в зависимости времени выдержки в воде, концентрации ингибиторов и других параметров, по данным ускоренных испытаний электрохимическим методом линейного поляризационного сопротивления (ЛПС), а также гравиметрическим методом (ГРАВ) и расчета величин защитных эффектов ингибиторов приведены в табл.2. Эти данные, а также результаты оценки изменений внешнего вида образцов из Ст3 после испытаний, более подробно рассмотрены в разделах 3.1-3.5 экспериментальной части.

Таблица 2. Величины скорости коррозии стали Ст3 (по данным ЛПС) и защитных эффектов ингибиторов «АКВА-БИНАР» (АБ) и «АКВА-ОЭДФ-*Zn*» (ОЦ) в стабилизированной водопроводной воде (рН 8,0)

№ п/ п	Параметры среды	Вре м я выде р- жки, ч	Метод опреде ления K _п	Скорость коррозии, K _п мкм/год /Защитный эффект, %				
				фон	0,1% АБ	1% АБ	0,1% ОЦ	1% ОЦ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20°С, без перемешивания, ест. аэрация	24	ЛПС	53 ±13,3 (±25%)	20,6/ <u>61,1%</u>	6,1/ <u>88,4%</u>	21,6/ <u>59,2%</u>	205,6/ <u>нет</u>
2	20°С, без перемешивания ест. аэрация	100	ЛПС	26,2	21,6/ <u>18%</u>	6,6/ <u>74,7%</u>	18,8/ <u>28,3%</u>	234,4/ <u>нет</u>
3	20°С, без перемешивания ест. аэрация	240	ЛПС	30,6	30,1/ нет	11,9/ <u>60,5%</u>	30,2/ нет	18,3/ <u>39,2%</u>
4	20°С, перемешивание, барботаж	24	ЛПС	64,6	1,8/ <u>97,2%</u>	1,7/ <u>97,4%</u>	5,1/ <u>92,1%</u>	13,7/ <u>78,8%</u>
5	20°С, перемешивание, барботаж	70	ЛПС	59,0	1,69/ <u>97,1%</u>	2,92/ <u>95,1%</u>	12,28/ <u>79,2%</u>	4,54/ <u>92,3%</u>
6	20°С, перемешивание, барботаж	100	ЛПС	48,8	2,1/ <u>95,7%</u>	3,1/ <u>93,7%</u>	12,2/ <u>75,0%</u>	4,0/ <u>91,8%</u>
			ГРАВ	142	4,6/ <u>96,7%</u>	2,2/ <u>98,5%</u>	6,2/ <u>95,6%</u>	4,3/ <u>96,9%</u>
7	20°С, перемешивание, деаэрация	24	ЛПС	20,1	5,2/ <u>74,1%</u>	48/ нет	8,4/ <u>58,2%</u>	81,4/ нет
8	75°С, без перемешивания ест. аэрация	24	ЛПС	71± 14,6 (±21%)	36,7/ 48,3%	65,2/ нет	52,5/ <u>26%</u>	37,7/ <u>47%</u>
9	75°С, без перемешивания ест. аэрация	100	ЛПС	79,6	42,2/ <u>47%</u>	343/ нет	22,0/ <u>72,4%</u>	74,2/ нет
10	75°С, перемешивание барботаж	24	ЛПС	135,1	39,9/ <u>70,5%</u>	13,0/ <u>90,4%</u>	48,9/ <u>63,8%</u>	13,0/ <u>90,4%</u>
11	75°С, перемешивание барботаж	70	ЛПС	151,5	24,0/ <u>86,6%</u>	6,9/ <u>96,1%</u>	37,4/ <u>79,0%</u>	5,9/ <u>96,7%</u>

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	75°C, с перемешиванием барботажа	100	ЛПС	149,2	1,2/ <u>99,2%</u>	1,7/ <u>98,9%</u>	51,4/ <u>65,5%</u>	0,6/ <u>99,6%</u>
13	75°C, с перемешиванием барботажа	200	ЛПС	165,6	25,3/ <u>84,7%</u>	8,4/ <u>94,9%</u>	38,3/ <u>76,9%</u>	7,2/ <u>95,6%</u>
			ГРАВ	1022	46,2/ <u>95,5%</u>	28/ <u>97,3%</u>	144,5/ <u>85,8%</u>	110/ <u>89,3%</u>
14	по окончании п.13 отключено перемешивание, 75°C	+4	ЛПС	245,1	42,6/ <u>82,6%</u>	1,5/ <u>99,3%</u>	37,4/ <u>84,7%</u>	0,1/ <u>99,9%</u>
15	75°C, без перемешивания деаэрация	100	ГРАВ	13,7	20,1/ нет	4,1/ <u>70,2%</u>	12,3/ <u>10,2%</u>	52,7/ нет
16	75°C, с перемешиванием деаэрация	24	ЛПС	141,5	9,8/ <u>93,1%</u>	127,7/ нет	28,2/ <u>80,1%</u>	29,6/ <u>79,1%</u>
17	115°C, без перемешивания деаэрация	240	ГРАВ	22,5 ±4,5	4,8± 0,5/ <u>78,5%</u>	21,5± 5,2/ нет	2,9±0,6 <u>/87,2%</u>	176,0± 15/нет

3.1. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 20°C без перемешивания

При 20°C без перемешивания, в условиях естественной аэрации, скорость коррозии Ст3 по данным ЛПС (K_n) за 24ч выдержки в воде без ингибиторов составляет в среднем $53 \pm 13,3$ мкм/год (п.1, табл.2). Эти измерения проводились с использованием пяти одинаковых трехэлектродных датчиков ЛПС, погруженных в отдельные стаканы с водой при 20°C. Отклонение от средней величины K_n составило 25% и не превышало этой величины в других сериях экспериментов, таким образом, точность проведенных количественных коррозионных измерений следует считать вполне удовлетворительной.

При дальнейшем увеличении продолжительности испытаний до $100 \div 240$ ч скорость коррозии Ст 3 в воде без ингибиторов снижается (рис.7) и стабилизируется, составляя $26 \div 31$ мкм/год (п.2,3, табл.2).

При введении ингибиторов *АБ* и *ОЦ* в концентрации 0,1% при 20°C без перемешивания, их *Z* составляет около 60% за 24ч, через 100 ч снижается до незначительных величин – $18 \div 23$ %, а через 240ч отсутствует. Существенный защитный эффект в данных условиях испытаний наблюдается только в случае ингибитора *АБ* в концентрации 1% (масс.), который, однако, снижается с 88,4% в первые сутки испытаний до 60,5% через 240 ч (п.3, табл.2).

Таким образом, при 20°C без перемешивания в аэрированной воде существенной эффективностью обладает только ингибитор *АБ* в высокой концентрации – 1%, ингибитор *ОЦ* в такой концентрации вызывает стимулирование коррозии (п. 2, табл.2).

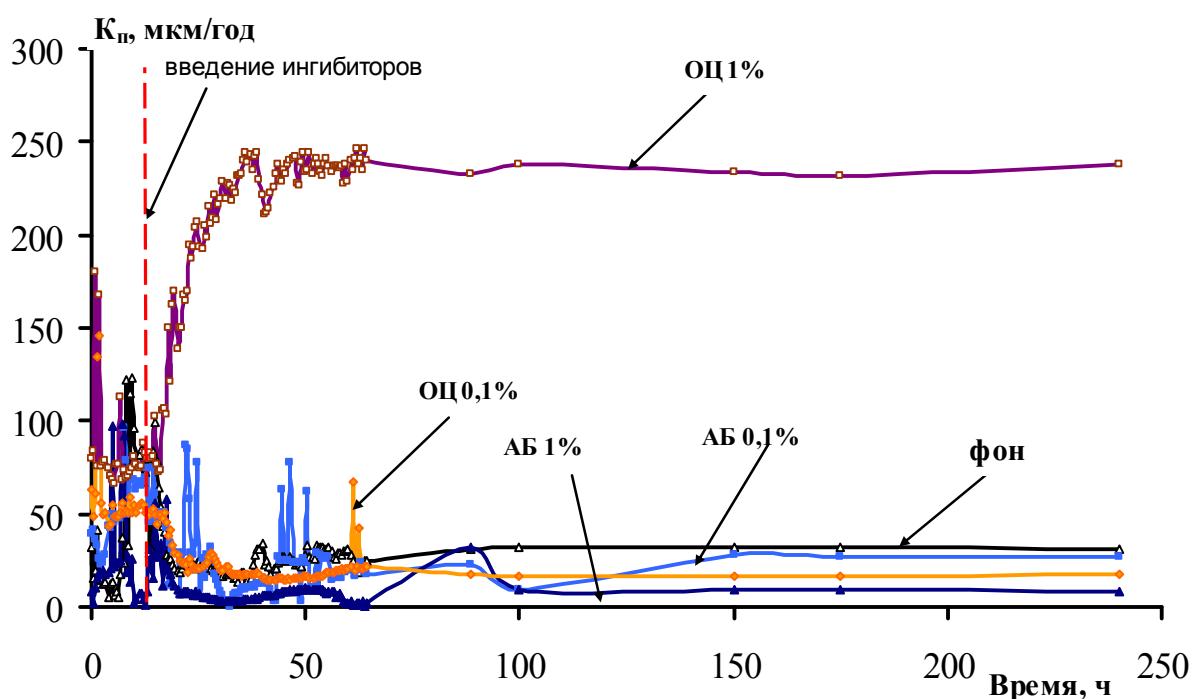


Рис. 7. Зависимости скорости коррозии стали Ст3 от времени выдержки в воде при 20° С без перемешивания, естественная аэрация

3.2. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 20°C при перемешивания

При использовании перемешивания (барботажа) при 20°C скорость коррозии Ст3 по данным ЛПС (рис.8) в присутствии ингибитора АБ в концентрациях 0,1÷1% существенно снижается и составляет всего 2-3 мкм/год для АБ (п.4, табл.2), Z за 24ч – 97% и остается таким же высоким до конца 100-часовых испытаний (п.6, табл.2). В присутствии ингибитора ОЦ K_n составляет 5÷14 мкм/год, Z составляет 79-92%, т.е. весьма высок, хотя и уступает соответствующим величинам для АБ.

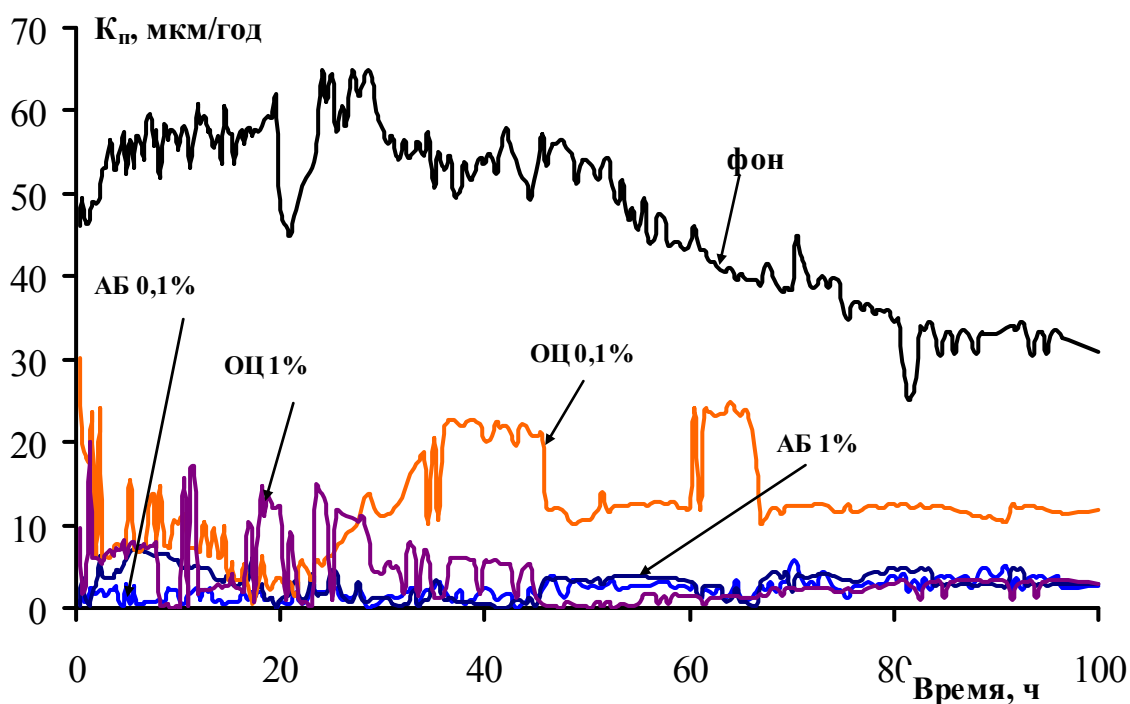


Рис. 8. Зависимости скорости коррозии стали Ст3 от времени выдержки в воде при 20° С с перемешиванием (барботажем)

По данным гравиметрии, скорость коррозии Ст3 в воде с перемешиванием без ингибиторов при 20°C составляет 142 мкм/год, что примерно в 3 раза выше, чем по данным ЛПС (п.6, табл.2). В присутствии обоих ингибиторов методом гравиметрии, как и ЛПС, также получены низкие значения K_n , причем рассчитанные значения Z очень высоки и

составляют 97–99% для *АБ*, и 96-97% для *ОЦ*. Очевидно, метод ЛПС для ингибитора *АБ* дает на 1-4% более низкие значения *Z*. В случае ингибитора *ОЦ* в концентрации 0,1%, методом ЛПС получены примерно на 15% более низкие значения *Z*.

Таким образом, по результатам электрохимических и гравиметрических измерений, перемешивание водной среды при 20°C способствует практически полной защите стали Ст3 ингибиторами в *АБ* и *ОЦ* в концентрациях 0,1÷1%.

Этот вывод также подтверждается оценкой изменений внешнего вида. В то время, как после выдержки (100 ч) в воде без ингибиторов при 20°C с барботажем поверхность стали Ст 3 (на рис.9 слева) подвергается весьма интенсивной коррозии (пятнами, питтингами), поверхность образцов, выдерживавшихся в воде с ингибиторами *АБ* и *ОЦ* в концентрациях 0,1-1%, осталась практически без изменений (тонкие пленки).

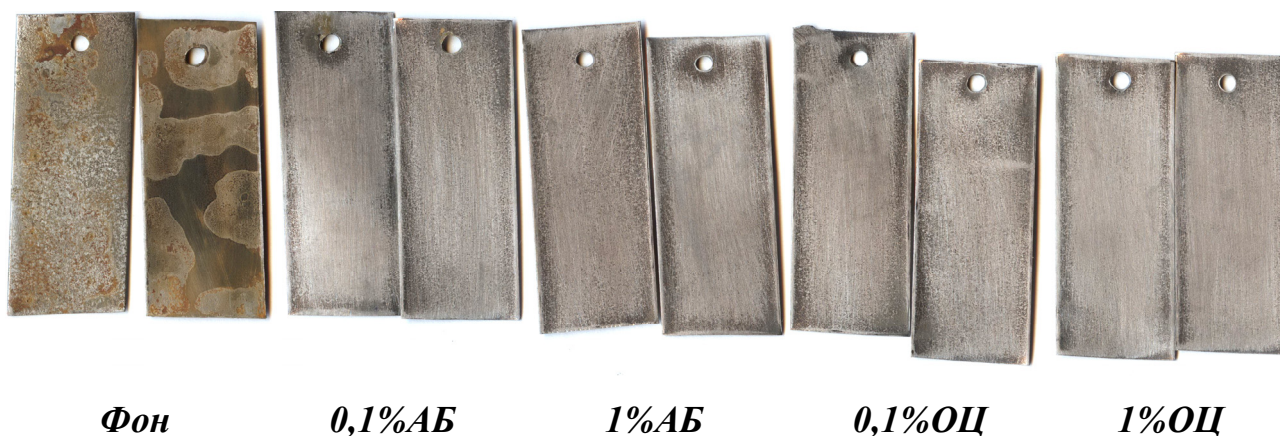


Рис.9. Внешний вид образцов для гравиметрии после 100 ч испытаний при 20°C в аэрированной воде при перемешивании (барботаже)

Краткосрочные испытания (24ч) в деаэрированной воде при 20°C с перемешиванием (с помощью магнитной мешалки) показали, что защитные эффекты в присутствии 0,1% ингибиторов *АБ* и *ОЦ* значительно снижаются по сравнению с аэрированными (п.7, табл.2), а при концентрациях 1%-

отсутствуют. Защитные свойства ингибитора *АБ* в этом случае также несколько выше, чем *ОЦ*.

3.3. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 75°C без перемешивания

При 75°C без перемешивания, в условиях естественной аэрации, скорость коррозии Ст3 по данным ЛПС (K_n) за 24ч выдержки в воде без ингибиторов составляет в среднем $71 \pm 14,6$ мкм/год (п.8, табл.2). Отклонение от средней величины K_n составило 21%, таким образом, точность данных измерений близка к полученной выше в п.3.1. Защитный эффект ингибитора *АБ* в концентрации 0,1% составляет всего 48,3% за 24ч испытаний, при концентрации 1% отсутствует, для ингибитора *ОЦ* – мал, всего 26-47%. С увеличением продолжительности испытаний до 50 и далее до 100 ч скорости коррозии в фоне и ингибированных растворах *АБ* 0,1% и *ОЦ* 1% становятся примерно равными, за исключением 0,1% *ОЦ*, защитный эффект которого повышается до 72,4%. При концентрации *АБ* 1% наблюдается значительное стимулирование коррозии, для ингибитора *ОЦ* в концентрации 1% защитный эффект также отсутствовал.

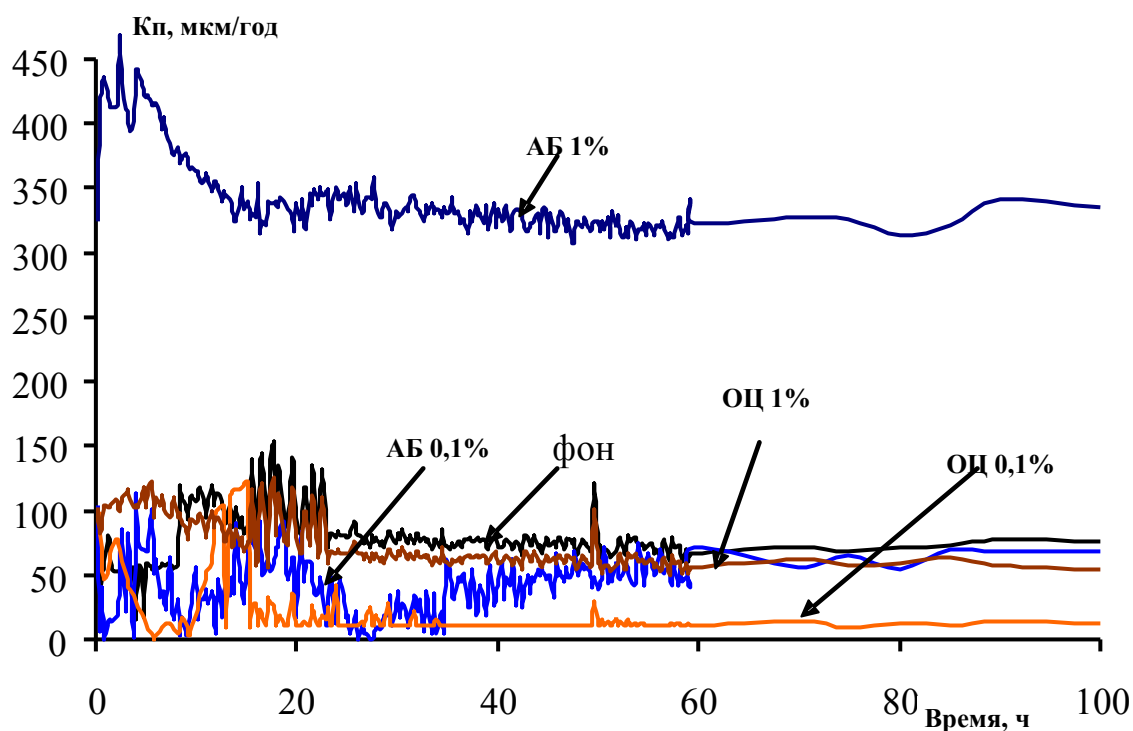


Рис.10. Зависимости скорости коррозии стали Ст3 от времени выдержки в воде при 75° С без перемешивания, естественная аэрация

Коррозионные испытания (100 ч) в деаэрированной воде при 75°C без перемешивания (п.15, табл.2) также показали, что величины защитного эффекта в присутствии ингибиторов *АБ* и *ОЦ* значительно снижаются или отсутствуют по сравнению с аэрированными. Защитные свойства ингибитора *АБ* в этом случае также несколько выше, чем *ОЦ*.

Таким образом, в отсутствие перемешивания воды при естественной аэрации и деаэрации при температуре 75°C, защитный эффект ингибиторов *АБ* и *ОЦ* понижен или отсутствует. В этих условиях, возможно, необходимы подбор оптимальных (более низких) концентраций ингибиторов, а также проведение испытаний в условиях, более близких к реальным конкретным условиям эксплуатации.

3.4. Определение защитного эффекта ингибиторов «Аква-Бинар» и «АКВА-ОЭДФ-Zn» в воде при 75°C с перемешиванием

При 75°C в аэрированной воде с перемешиванием без ингибиторов K_n Ст3 по данным ЛПС составляет 135-166 мкм/год (п. 10-13 табл.2). Через 24 ч испытаний в присутствии ингибиторов *АБ* и *ОЦ* в концентрациях 0,1÷1% защитные эффекты составляют 71-90% и 64-90% соответственно, через 100 ч Z для обеих концентраций ингибитора *АБ*, 1% *ОЦ* очень высок и составляет 99%. При концентрации *ОЦ* 0,1% защитный эффект понижен.

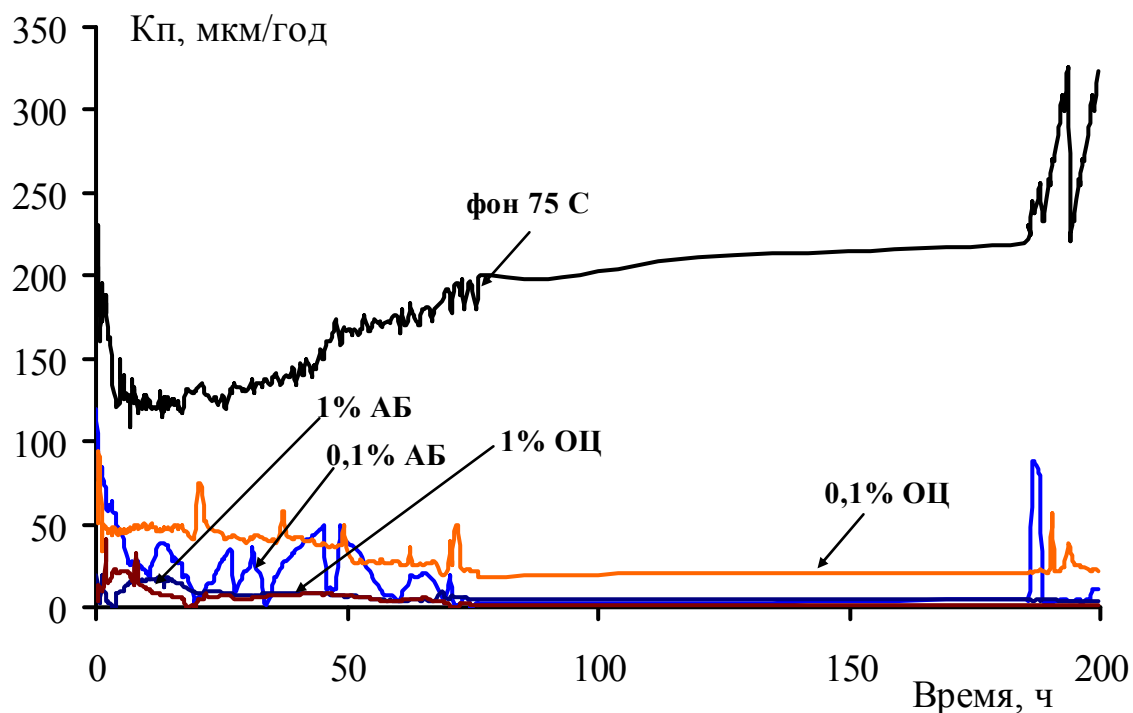


Рис. 11. Зависимости скорости коррозии стали Ст3 от времени выдержки в воде при 75° С с перемешиванием (барботажем)

Результаты гравиметрии по окончании 200ч испытаний, подтверждают высокое защитное действие ингибитора АБ, величины Z ингибитора ОЦ на 7-10% меньше. Величины Z , полученные методами ЛПС и гравиметрии, в этой серии измерений довольно близки, хотя последняя дает более высокие значения Z , как и при 20°C (п.6, табл.2).

Интересны, на наш взгляд, результаты эксперимента в п.14 (табл.2). По окончании 200 ч испытаний при 75°C с перемешиванием, оно было отключено, а измерения K_n продолжались еще 4 ч. Величины Z ингибиторов АБ и ОЦ при этом оставались примерно такими же высокими, как и с перемешиванием. Очевидно, это происходит вследствие формирования защитных пленок, которые сохраняются при четырехчасовой выдержке без перемешивания. Этот факт нуждается в дополнительном исследовании.

При 75°C в деаэрированной воде без ингибиторов K_n Ст3 с перемешиванием по данным ЛПС составляет 141,5 мкм/год (п. 16, табл.2). За 24 ч испытаний в присутствии ингибиторов АБ и ОЦ в концентрациях

0,1% защитные эффекты составляют 93,1% и 80,1%, при концентрации ингибитора АБ 1% защитный эффект практически отсутствует.

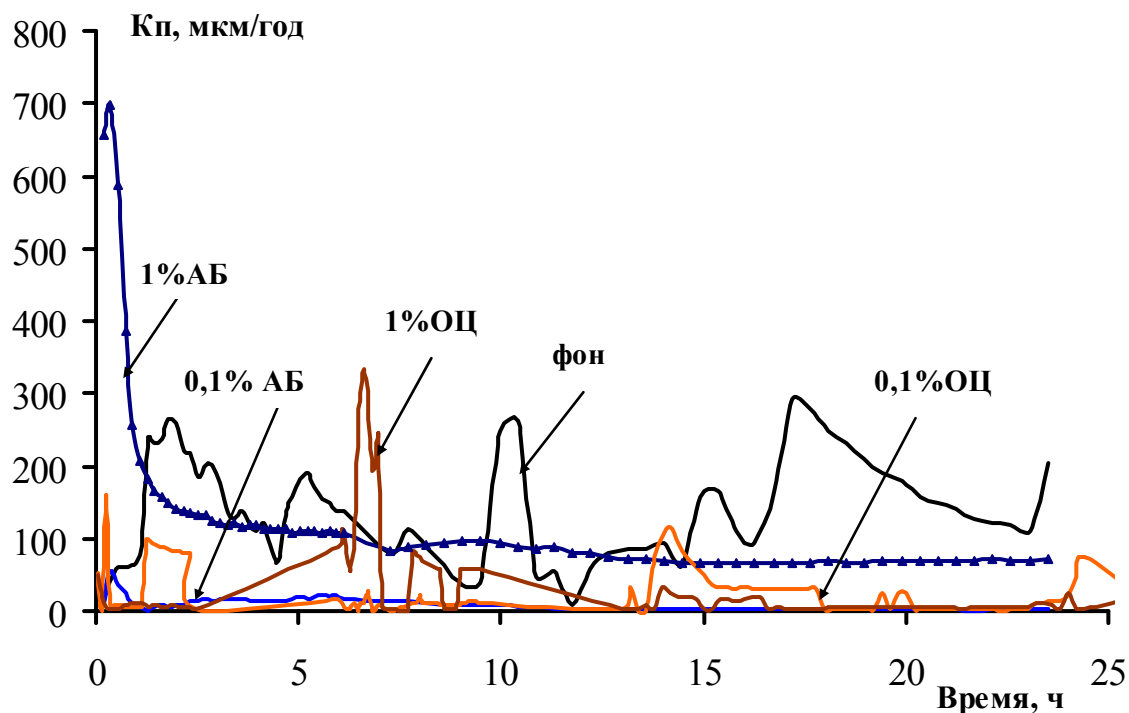


Рис.12. Зависимости скорости коррозии стали Ст3 от времени выдержки в воде с деаэрацией при 75°С с перемешиванием (барботаж)



Рис. 13.. Внешний вид образцов для гравиметрии и датчика ЛПС после 100 ч испытаний при 75°С в азрированной воде (фон) с перемешиванием (барботаж)

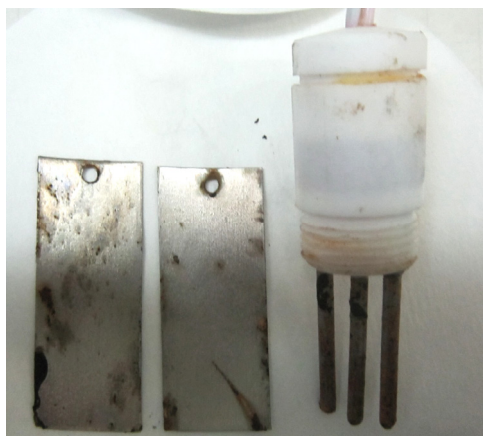


Рис. 14. Внешний вид образцов для гравиметрии и датчика ЛПС после 100 ч испытаний при 75°C в аэрированной воде с перемешиванием, содержащей 0,1% ингибитора АБ



Рис.15. Внешний вид образцов для гравиметрии и датчика ЛПС после 100 ч испытаний при 75°C в аэрированной воде с перемешиванием, содержащей 1% ингибитора АБ



Рис.16. Внешний вид образцов для гравиметрии и датчика ЛПС после 100 ч испытаний при 75°C в аэрированной воде с перемешиванием, содержащей 0,1% ингибитора ОЦ



Рис.17. Внешний вид образцов для гравиметрии и датчика ЛПС после 100 ч испытаний при 75°C в аэрированной воде, содержащей 1% ингибитора ОЦ



Рис. 18. Внешний вид образцов для гравиметрии после 100 ч испытаний при 75°C в деаэрированной воде без перемешивания и без ингибиторов (фон)



Рис.19. Внешний вид образцов для гравиметрии после 100 ч испытаний при 75°C в деаэрированной воде без перемешивания с 0,1% ингибитора АБ



Рис.20. Внешний вид образцов для гравиметрии после 100 ч испытаний при 75°C в деаэрированной воде с 1% ингибитора АБ



Рис. 21. Внешний вид образцов для гравиметрии после 240 ч испытаний при 75°C в деаэрированной воде с 0,1% ингибитора ОЦ

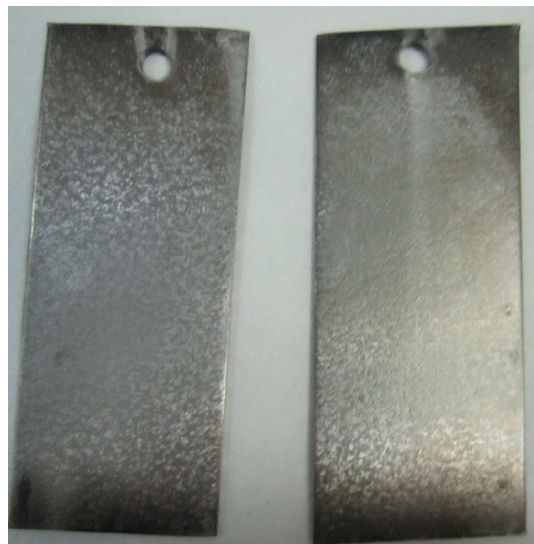


Рис.22. Внешний вид образцов для гравиметрии после 240 ч испытаний при 75°C в деаэрированной воде с 1% ингибитора ОЦ

3.5. Автоклавные испытания в воде при 115°C

Автоклавные гравиметрические коррозионные испытания защитного действия ингибиторов *АБ* и *ОЦ* при 115°C путем выдержки образцов из Ст3 в течение 240 ч в автоклавах из нержавеющей стали. В них заливалось по 100 мл воды, в которую дозировались необходимые количества ингибиторов в концентрациях 0,1-1%. После монтажа образцов на подвесках крышках автоклавов, они неплотно закручивались и температура автоклавов повышалась до 100-105°C до появления пара для деаэрации водных растворов в течение 15 мин, после чего крышки плотно закручивались, температура поднималась до 115°C и испытания продолжались 240 ч.

Внешний вид образцов после автоклавных испытаний показан на рис.23. Первые два образца слева – фон без ингибиторов, на них наблюдаются пятна ржавчины, поверхность покрыта неравномерной неплотной пленкой продуктов коррозии. Образцы, испытанные в растворах ингибиторов *АБ* и *ОЦ* в концентрации 0,1%, после испытаний покрываются тонкой темной

равномерной пленкой без видимых дефектов, которая, вероятно, обуславливает наличие защитного эффекта ингибиторов в этих условиях. Высокая концентрация ингибиторов – 1%, является завышенной и приводит к элиминированию их защитного действия, поверхность после испытаний становится светлой, растравленной, особенно в 1% *ОЦ*.

Таким образом, при температуре 115°C, защитный эффект ингибиторов *АБ* и *ОЦ*, который составляет 79 и 87% соответственно, обеспечивается при их невысоких концентрациях (возможно – меньших 0,1%).

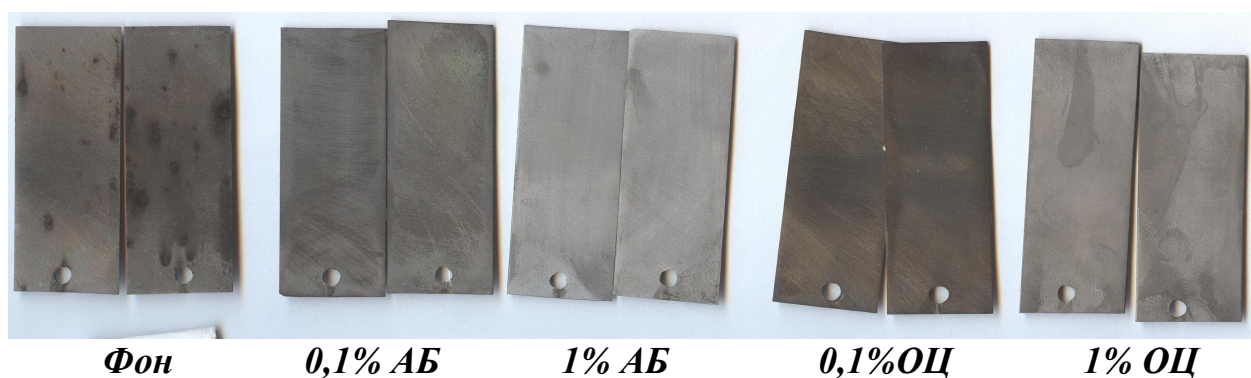


Рис. 23. Внешний вид образцов из Ст 3 после автоклавных испытаний при полном погружении в воду в течение 240ч при 115°C

3.6. Обсуждение результатов испытаний

Из полученных результатов определения эффективности ингибиторов «Аква-Бинар» и «Аква-ОЭДФ-Zn» в концентрациях 0,1%-1,0% по отношению к стали Ст3 в воде можно заключить следующее.

1. Ингибиторы *АБ* и *ОЦ* в концентрациях 0,1÷1% при перемешивании водной среды при 20°C обеспечивают практически полную защиту стали Ст3. Значения защитного эффекта ингибиторов очень высоки и составляют 97–99% для *АБ*, и 96-97% для *ОЦ*. При 75°C в аэрированной воде с перемешиванием величины защитного эффекта ингибитора *АБ* в концентрациях 0,1÷1% также очень высок и составляет 96-97%, *З* ингибитора *ОЦ* несколько ниже (86-89%).

2. В аэрированной воде в отсутствие перемешивания при 20°C существенной эффективностью обладает только ингибитор *АБ* в высокой концентрации – 1%, ингибитор *ОЦ* в такой концентрации вызывает стимулирование коррозии. В деаэрированной воде при 20°C с перемешиванием величины защитного эффекта в присутствии 0,1% ингибиторов *АБ* и *ОЦ* значительно снижаются по сравнению с аэрированными, а при концентрациях 1%- отсутствуют. Защитные свойства ингибитора *АБ* в этом случае также несколько выше, чем *ОЦ*. При 75°C в отсутствие перемешивания воды, при естественной аэрации и деаэрации, защитный эффект ингибиторов *АБ* и *ОЦ* также понижен или отсутствует. В этих условиях, возможно, необходимы подбор оптимальных (более низких) концентраций ингибиторов, а также проведение испытаний в условиях, более близких к реальным конкретным условиям эксплуатации.

3. По предварительным данным, защитные пленки на поверхности стали, сформировавшиеся в ингибированных растворах с перемешиванием, способствуют дальнейшей защите стали при отключении перемешивания.

4. При температуре 115°C, в условиях автоклавных испытаний, защитный эффект ингибиторов *АБ* и *ОЦ*, который составляет 79 и 87% соответственно, обеспечивается при невысоких концентрациях – 0,1%. Концентрация ингибиторов – 1% в этих условиях является завышенной и приводит к элиминированию их защитного действия, поверхность после испытаний становится светлой, растравленной, особенно в 1% *ОЦ*.

5. Результаты гравиметрии подтверждают высокое защитное действие ингибитора *АБ* в условиях перемешивания при 20-75°C, величины *Z* ингибитора *ОЦ* были несколько меньше. Различия скоростей коррозии и величин *Z*, полученных методами ЛПС и гравиметрии, значительны в воде без ингибиторов, особенно при 75° С. Результаты, получаемые обоими методами в ингибированных растворах, довольно близки.

6. На основании проведенных лабораторных ускоренных коррозионно-электрохимических испытаний в условиях, моделирующих эксплуатацию

систем водоснабжения при температурах 20-75°C, можно заключить, что ингибитор «Аква-Бинар» обладает высокой защитной способностью (до 99%) уже при небольших скоростях потока водных сред и заметно превосходит в этих условиях ингибитор «Аква– ОЭДФ-Zn».

7. В условиях, моделирующих системы коррекционной обработки воды паровых котлов низкого давления (статические автоклавные испытания при 115° С) ингибиторы «Аква-Бинар» и «Аква– ОЭДФ-Zn» обеспечивают величины защитного эффекта 79-87%. Для более точной оценки эффективности ингибиторов, необходимо провести подобные испытания в условиях потока жидкости.

ВЫВОДЫ

1. Ингибиторы «Аква-Бинар» и «Аква – ОЭДФ-Zn» в концентрациях 0,1÷1% при перемешивании водной среды при 20°C (1м/с) водной среды при 20°C обеспечивают практически полную защиту стали Ст3. Значения защитного эффекта ингибиторов очень высоки и составляют 97–99% для «Аква-Бинар», и 96-97% для «Аква – ОЭДФ-Zn». При 75°C в аэрированной воде с перемешиванием защитный эффект ингибитора «Аква-Бинар» также очень высок и составляет 96-97%, Z ингибитора «Аква – ОЭДФ-Zn» несколько ниже (86-89%).

2. По предварительным данным, защитные пленки на поверхности стали, сформировавшиеся в ингибированных растворах с перемешиванием, способствуют дальнейшей защите стали при отключении перемешивания.

3. Результаты гравиметрии подтверждают высокое защитное действие ингибитора «Аква-Бинар» в условиях перемешивания при 20-75°C, величины Z ингибитора «Аква – ОЭДФ-Zn» были несколько меньше. Результаты, получаемые обоими методами в ингибированных растворах, довольно близки.

4. На основании проведенных лабораторных ускоренных коррозионно-электрохимических испытаний в условиях, моделирующих эксплуатацию

систем водоснабжения при температурах 20-75°C, можно заключить, что ингибитор «Аква-Бинар» обладает высокой защитной способностью (до 99%) уже при небольших скоростях потока водных сред и заметно превосходит в этих условиях ингибитор «Аква– ОЭДФ-Zn».

5. В условиях, моделирующих системы коррекционной обработки воды паровых котлов низкого давления (статические автоклавные испытания при 115° С) ингибиторы «Аква-Бинар» и «Аква– ОЭДФ-Zn» обеспечивают величины защитного эффекта 79-87%. Для более точной оценки эффективности ингибиторов необходимо провести подобные испытания в условиях потока жидкости.

Исполнитель-

В.Н.С., К.Х.Н.



Ануфриев Н.Г.