

**ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ****ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ АМИНО-И ФОСФАТСОДЕРЖАЩИХ  
ИНГИБИТОРОВ В КИСЛЫХ И СОЛЕВЫХ СРЕДАХ****Осербаева Альфия Курбанбаевна***ассистент, Ташкентский химико-технологический институт,  
Республика Узбекистан г.Ташкент  
E-mail: [oserbaeva@mail.ru](mailto:oserbaeva@mail.ru)***Нуруллаев Шавкат Пайзиевич***канд.хим.наук, профессор Ташкентский химико-технологический институт,  
Республика Узбекистан г.Ташкент  
E-mail: [urullaevp@mail.ru](mailto:urullaevp@mail.ru)***Фузайлова Феруза Нормуродовна***докторант, Институт общей и неорганической химии А.Н Республики Узбекистан  
Республика Узбекистан г.Ташкент  
E-mail: [foojayl-17.06@mail.ru](mailto:foojayl-17.06@mail.ru)***Гуро Виталий Павлович***д-р хим. наук, профессор, Институт общей и неорганической химии А.Н Республики Узбекистан  
Республика Узбекистан г.Ташкент  
E-mail: [guro@mail.ru](mailto:guro@mail.ru)***POLARIZATION RESISTANCE OF AMINO-AND PHOSPHATE-CONTAINING INHIBITORS  
IN ACID AND SALT MEDIA****Alfiya Oserbaeva***Assistant, Tashkent Chemical – Technological Institute,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Shavkat Nurullaev***candidate of chemical science, professor Tashkent Chemical – Technological Institute,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Feruza Fuzaylova***doctorate of the Institute of General and Inorganic Chemistry of A.N. of the Republic of Uzbekistan  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Vitaly Guro***Doctor of Science, Professor of the Institute of General and Inorganic Chemistry  
of A.N. of the Republic of Uzbekistan  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***АННОТАЦИЯ**

Электрохимическими и гравиметрическими методами исследования определены такие параметры, как ток коррозии, стационарный потенциал, скорость коррозии, степень защиты и установлена оптимальная температура процесса ингибирования и концентрация ингибиторов. Ингибиторное действие азот, амин и фосфорсодержащих соединений при постоянных рН обусловлено их адсорбционными свойствами и зависит от электронной плотности на атоме азота.

Исследованы изменения поляризационных сопротивлений и защитные свойства ингибиторов коррозии, содержащие amino-и фосфатные функциональные группы в солевых и кислых средах. Ингибирующие и остаточное

защитные действия примененных органических ингибиторов–алкиламинов и фосфат диэтиламино-этилметакрилата остается на высоком уровне с изменением кислотности среды.

Основываясь на полученных результатов по изучению поляризационного сопротивления и поляризационных кривых, была поставлена серия опытов по изучению гравиметрических методов в различных солевых и кислых средах, концентрациях, температурах в присутствии различных ингибиторов коррозии сталей. Полученный защитный эффект при применении ингибиторов коррозии составил в зависимости от температуры среды  $87,35 \div 98,81\%$ .

#### ABSTRACT

Electrochemical and gravimetric methods of investigation determined such parameters as corrosion current, stationary potential, corrosion rate, degree of protection, and the optimal temperature of the inhibition process and the concentration of inhibitors were established. The inhibitory effect of nitrogen, amine and phosphorus-containing compounds at constant pH is due to their adsorption properties and depends on the electron density on the nitrogen atom. Changes in polarization resistances and protective properties of corrosion inhibitors, containing amino and phosphate functional groups in salt and acidic environments, are investigated. The inhibitory and residual protective effects of the applied organic inhibitors alkylamines and phosphate diethylamino-ethyl methacrylate remain high with changes in the acidity of the medium. Based on the obtained results on the study of polarization resistance and polarization curves, a series of experiments were conducted on the study of gravimetric methods in various salt and acid media, concentrations, temperatures in the presence of various steel corrosion inhibitors. The obtained protective effect with the use of corrosion inhibitors was, depending on the ambient temperature,  $87.35 \div 98.81\%$ .

**Ключевые слова:** ингибитор, поляризационная сопротивление, степень защиты, скорость коррозии, коэффициент торможения, кислотная коррозия, защитный эффект.

**Keywords:** inhibitor, polarization resistance, degree of protection, corrosion rate, drag coefficient, acid corrosion, protective effect.

**Введение:** В настоящее время применение ингибиторов коррозии признано наиболее эффективным способом снижения интенсивности коррозионного разрушения стальных конструкций и оборудования [1-3]. При этом универсальный ингибитор, отвечающий требованиям высокой эффективности, технологичности, токсико-логической безопасности и при этом получаемый экономически целесообразным способом, получить невозможно.

Ингибиторы коррозии используются для создания стойких покрытий и химических соединений, связывающих кислород или другие ионы, служат в качестве добавок в композициях, для создания покрытий в циркулирующих водных системах и т.п. Современная классификация ингибиторов в себя включает окислителей, т.е ингибиторов адсорбционного, комплексо-образующего и полимерного типа. Однако изучению амин и фосфат содержащих органических соединений как ингибиторы коррозии сталей и их поляризационные поведение в кислых и солевых средах не удавалось должного внимания.

Для измерения поляризационного сопротивления ( $R_{пол}$ ) при электрохимической коррозии металлов в кислых и солевых средах применен измеритель скорости коррозии Р-5035И. Этот прибор предназначен для определения скорости коррозии ( $\gamma$ ) путем измерения  $R_{пол}$  двух электродного коррозионного датчика на постоянном токе. Кроме этого примененный измеритель заменяет используемый в коррозионной практике гравиметрический метод, что он позволяет резко сократить время измерения и ввести экспресс-методы коррозионных испытаний, а также росту производительности экспериментов.

Измеритель предназначен для работы в закрытых помещениях при температурах окружающего воздуха от  $20$  до  $35^\circ\text{C}$  и относительной влажности до

80%. Прибор измеряет поляризационное сопротивление в диапазоне *от 5 до 5000 Ом* на трех диапазонах, т. е. *5÷50 Ом; 50÷500 Ом и 500÷5000 Ом*. Значение напряжения постоянного тока при измерении  $R_{пол}$  и амплитуда напряжения переменного тока при компенсации сопротивления раствора на коррозионном датчике не превышает  $10 \text{ мВ}$  в момент равновесия в измерительной цепи.

Скорость коррозии зонда из исследуемых растворов рассчитывали по формуле:

$$i_{con} = \frac{P \cdot n \cdot 26,8}{S \cdot \tau \cdot A}, \text{ (г.А/см}^2\text{)} \quad (1)$$

где  $P$  – убыль в массе электрода, гр;  $n$  – валентность металла,

$26,8$  – число Фарадея,  $S$  – площадь электрода,  $\text{см}^2$ ,

$\tau$  - время опытов, час;  $A$  – атомная масса металла.

Исследования проведены в фоновых растворах состава  $3\% \text{ NaCl}$  (фон-1) и  $5\% \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 3\% \text{ H}_2\text{SO}_4$  (фон-2) и водопроводной воды (фон-3) при различных температурах. Растворы готовили из реактивов марки «х.ч.» на дистилляте. Электроды изготовлены из стали марки состава, %:  $\text{Fe}=98,36$ ;  $\text{C}=0,20$ ;  $\text{Mn}=0,50$ ;  $\text{Si}=0,15$ ;  $\text{P}=0,04$ ;  $\text{S}=0,05$ ;  $\text{Cr}=0,30$ ;  $\text{Ni}=0,20$ ;  $\text{Cu}=0,20$ . В качестве ингибиторов *См.3* использовали азот, амин и фосфорсодержащие соединения которые вводили в количестве  $1,0 \text{ мг/л}$ . Коэффициент торможения  $\gamma$  и степень защиты  $Z$  рассчитывали по формулам:

$$\gamma = i_c / \tau_{cr} \quad (2)$$

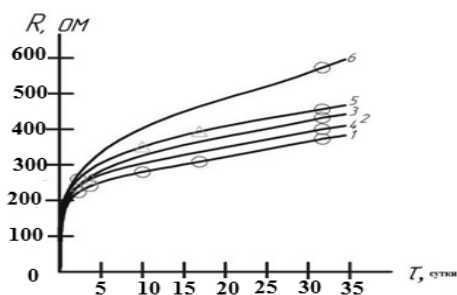
$$Z = \frac{i_c - i_{cl}}{i_c} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $i_c$  и  $i'_c$  – токи коррозии соответственно в отсутствии и присутствии ингибитора.

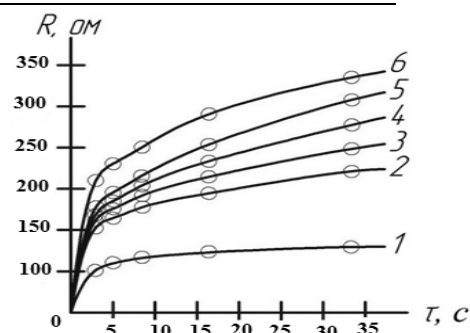
Исследование антикоррозионных свойств ингибиторов заключается в экспериментальном изучении поляризационного сопротивления стального электрода или зонда в растворе фона и в присутствии различных ингибиторов.

Результаты измерений поляризационного сопротивления стального зонда в слабокислых и солевых средах, а также в присутствии ингибиторов при  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,2$ , а также при  $T=70^\circ\text{C}$   $\text{pH}=5$  представлены на рисунках 1, 2 и 3. На этих рисунках в качестве примера приведены результаты измерений поляризационного сопротивления ( $R_{\text{пол.}}$ ) стального зонда в присутствии ингибиторов: ИК-4 ( $\text{CH}_2\text{NH}_2+\text{H}_3\text{PO}_4$ ); ИК-5 ( $\text{CH}_3)_2\text{NH}+\text{H}_3\text{PO}_4$ ; ИК-6 ( $\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}+\text{H}_3\text{PO}_4$ ; ИК-7 ( $\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{N}+\text{H}_3\text{PO}_4$  и ИК-8 (ДЭАЭМА+ $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) (диэтиламино-этилметаакрилат).

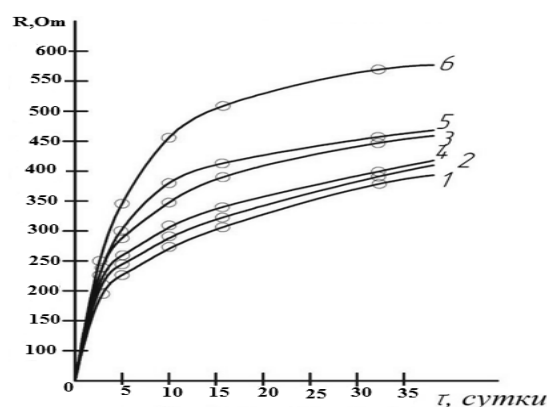
Из рис. 1, 2 и 3 видно, что введение в фоновый раствор индивидуальных ингибиторов увеличивает поляризационное сопротивление стального зонда. Такой результат указывает на резкое торможение электрохимического процесса и позволяет получить предварительные результаты об эффективности тех или иных видов ингибиторов. Увеличение температуры и кислотности коррозионной среды незначительно влияет на значение поляризационного сопротивления. Однако повышение температуры более  $70^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению степени защиты металлов с использованием ингибиторов при коррозионных процесс.



**Рисунок 1.** Кривые поляризационного сопротивления стального электрода в фоновом растворе  $\Phi-1$   $\text{NaCl}-3\%$  (1) и в присутствии  $0,001\text{мг/л}$  растворов ингибиторов: ИК-4 (2); ИК-5 (3); ИК-6 (4); ИК-7 (5) и ИК-8 (6), при  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,2$ .



**Рисунок 2.** Кривые поляризационного сопротивления стального электрода в фоновом растворе  $\Phi-2$  ( $\text{Na}_2\text{SO}_4-5\%+\text{H}_2\text{SO}_4-3\%$ ) при  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,2$ .



**Рисунок 3.** Поляризационные сопротивления ( $R_{\text{п}}$ ) стального электрода в фоновом растворе и в присутствии  $0,001\text{мг/л}$  растворов ингибиторов: ИК-4(2); ИК-5(3); ИК-6(4); ИК-7(5) и ИК-8(6) при  $E=80^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=5$

Ингибирование аминов при постоянных  $\text{pH}$  обусловлено их адсорбционными свойствами и зависит от электронной плотности на атоме азота. Пренебрежимо низкий вклад гидрофобности аминов в торможение или депассивации стали может быть связан с тем, что при их адсорбции на металле разрушение гидратной оболочки не затрагивает расположенные на определенном расстоянии от реакционного центра заместители. Основываясь на данных поляризационных измерений, была проведена обработка результатов методом поляризационного сопротивления, данные которых представлены в таблицах 1-10.

Таблица 1.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии амин содержащих ингибиторов (Т=25°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присут- ствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	3	-	5	-	-	-
1	185	7,43	210	0,170	65,58	84,80
4	120	4,71	220	0,130	66,60	84,88
8	204	1,90	300	0,032	66,64	84,94
16	205	0,98	360	0,016	66,08	84,90
32	298	0,48	390	0,008	66,03	84,91

Примечание: где ИК-4-ингибитор – [СН<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 2.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов (Т=25°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	2	-	4	-	-	-
1	185	7,43	220	0,181	75,58	86,15
4	189	4,71	270	0,125	76,65	86,30
8	204	1,90	310	0,035	78,89	87,35
16	205	0,98	380	0,014	78,86	87,30
32	298	0,48	430	0,004	78,85	87,30

где ИК-5-ингибитор - [(СН<sub>3</sub>)<sub>2</sub> NH·Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 3.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов (Т=25°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	2	-	4	-	-	-
1	130	11,23	230	0,213	78,84	87,25
4	135	8,48	255	0,103	79,91	87,44
8	160	3,18	320	0,026	80,04	87,58
16	185	2,35	390	0,013	80,01	87,53
32	205	1,03	440	0,007	80,02	87,54

где ИК-6-ингибитор-[(С<sub>2</sub>Н<sub>5</sub>)<sub>2</sub>NH·Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 4.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов (Т=25°C).

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	3	-	4	-	-	-
1	132	11,23	260	0,191	79,96	87,44
4	149	5,24	280	0,051	82,23	87,86
8	160	3,18	310	0,024	82,21	87,84
16	185	2,35	330	0,015	82,19	87,81
32	205	1,03	410	0,005	82,20	87,83

где ИК-7-ингибитор-[(C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>3</sub>N·H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 5.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-8 (Т=25°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	4	-	5	-	-	-
1	124	18,44	220	0,183	75,61	86,51
4	135	10,25	250	0,138	83,41	91,85
8	143	7,38	270	0,125	85,60	93,62
16	152	1,98	360	0,012	85,80	93,64
32	153	0,97	450	0,08	85,70	93,63

где ИК-8-ингибитор-ДЭАЭМА+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>(20:80)

Таблица 6.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-4 (Т=70 °C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	3	-	6	-	-	-
1	174	8,08	198	0,165	66,03	86,47
4	181	7,71	205	0,143	66,24	86,58
8	185	3,86	308	0,118	66,20	86,52
16	182	1,92	345	0,096	66,19	86,48
32	179	0,48	346	0,053	66,18	86,46

где ИК-4-ингибитор-[CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 7.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-5 (T=70°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	2	-	4	-	-	-
1	144	7,05	204	0,141	83,42	91,46
4	142	6,95	213	0,129	83,71	91,83
8	108	5,84	208	0,105	84,32	91,59
16	96	2,68	225	0,094	83,94	91,60
32	75	1,15	234	0,049	83,91	91,58

где ИК-5-ингибитор-[(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 8.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-6 (T=70°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	2	-	5	-	-	-
1	128	12,33	203	0,137	84,05	92,44
4	134	10,44	224	0,115	84,88	92,48
8	158	6,54	216	0,102	84,16	92,38
16	161	3,19	219	0,075	84,01	92,39
32	203	1,01	220	0,062	83,54	92,35

где ИК-6-ингибитор [(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>·NH + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 9.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-7 (T=70°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	Z, %
0	3	-	4	-	-	-
1	126	12,13	239	0,204	84,88	93,33
4	134	10,09	205	0,138	85,64	93,38
8	143	6,85	199	0,113	85,61	92,84
16	169	2,25	203	0,104	85,33	93,05
32	195	1,91	204	0,101	85,14	93,11

где ИК-7- ингибитор [(C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>3</sub>N + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] (20:80).

Таблица 10.

Зависимость поляризационного сопротивления и скорости коррозии стали от времени в фоновом растворе (Ф-1) и в присутствии аминсодержащих ингибиторов ИК-8 (Т=70°C)

$\tau$ , (время, сутки)	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 рН = 6,2	$i_{ск}$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$R_p$ , [ом/см <sup>2</sup> ] в среде Ф-1 (рН =6,2) и в присутствии ИК-4	$i_c$ , ч·А/см <sup>2</sup>	$\gamma$	$Z$ , %
0	4	-	5	-	-	-
1	129	20,43	179	0,144	87,85	96,54
4	138	10,21	211	0,121	88,04	96,61
8	144	6,82	289	0,098	87,91	96,55
16	159	2,97	314	0,088	87,88	96,51
32	161	0,63	321	0,091	87,69	96,52

где ИК-8-ингибитор–[ДЭАЭМА+Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub>] (20:80).

Результаты расчетов значений *коэффициента торможения* ( $\gamma$ ) и *степени защиты* ( $Z$ ) приведенные в таблицах 1-10 видно, что наиболее значительные результаты получены в присутствии 0,01 и 0,001 мг/л раствора ИК-5, ИК-6, ИК-7 и особенно при применении ИК-8 (ДЭАЭМА+Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub>) (при Т=25°C и 70°C) при рН=6,2.

Основываясь на полученных результатов по изучению поляризационного сопротивления и поляризационных кривых, была поставлена серия опытов по изучению гравиметрических методов в различных солевых и кислых средах, концентрациях, температурах в присутствии различных ингибиторов коррозии сталей. Полученный защитный эффект при применении ингибиторов коррозии составил в зависимости от температуры среды 87,35÷96,61%.

#### Список литературы:

- Семенова И.В., Флорианович Г. М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. –М., 2002, С.336.
- Осербаева А.К., Нуруллаев Ш.П. Изучение защитных свойств новых ингибиторов коррозии сталей. Журнал «Точная наука». Сборник статей международной естественнонаучной конференции, Кемерово, 2018, С. 3-8.
- Осербаева А.К., Калядин В.Г., Акбаров Х.И. Защитны //Узбекский химический журнал, 2013, №2, - С. 34-36.
- Патент США № 5082592. 21.01.1992. Ингибитор коррозии черных металлов в водных средах.
- Гуро В.П. и др. Ингибиторы коррозии стали для защиты теплообменного оборудования системы оборотного водоснабжения АНП 3 //Узбекский химический журнал. –Ташкент, 2004. №4, - С. 60-65.
- Килимник А.Б., Гладышева И.В. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии //Учебное пособие. –Тамбов, 2008, С.80.