

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИРОВАННОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ

**Мисиров Зафар Холмунович**

преподаватель ТГТУ Термезского филиала,  
Республика Узбекистан, г. Термез

**Бекназаров Хасан Сойибназарович**

д-р техн. наук, профессор  
Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии,  
Республика Узбекистан, п/о Шуро-базар  
E-mail: [hasan74@mail.ru](mailto:hasan74@mail.ru)

**Джалилов Абдулахат Турапович**

д-р хим. наук, академик АН РУз,  
Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

## STUDY OF STEEL CORROSION INHIBITION WITH THE USE OF SECONDARY WASTE

**Zafar Misirov**

Lecturer, TSTU, Termez branch,  
Republic of Uzbekistan, Termez

**Hasan Beknazarov**

Doctor of Technical Sciences Leading Researcher,  
Tashkent Research Institute of Chemical Technology,  
Republic of Uzbekistan, p/o Shuro Bazaar

**Abdulahat Djalilov**

D. Sc., Academician,  
Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology,  
Uzbekistan, Tashkent

### АННОТАЦИЯ

В работе изучена ингибирование коррозии стали ингибиторами на основе полиэтиленполиамин с кротоновым альдегидом. Полученные значения эффективности ингибирования, была достигнута 93,65% при 301 К и концентрации 50 г/л.

### ABSTRACT

In this work, we studied the inhibition of steel corrosion by inhibitors based on polyethylene polyamine with crotonic aldehyde. The obtained values of the inhibition efficiency were reached 93.65% at 301 K and a concentration of 50 g/l.

**Ключевые слова:** ингибиторы коррозии, коррозия металла, полиэтиленполиамин, кротоновый альдегид.

**Keywords:** corrosion inhibitors, metal corrosion, polyethylene polyamine, crotonaldehyde.

**Введение.** Хорошо известно, что низкоуглеродистая сталь применяется в производственных оборудованных и водооборотных системах из-за ее высокой механической прочности и низкой стоимости [1]. Однако он имеет плохую коррозионную стойкость при воздействии агрессивной среды, таких как промышленное травление и очистка кислотой, кислотная обработка нефтяных скважин, высокая температура и многие другие [1,2]. Эффекты коррозии огромны, и ее подавление до безопасного уровня очень желательно. Многие исследователи работали над получением различных методов смягчения коррозии мягкой

стали, среди которых - ингибирование поверхности мягкой стали с помощью органических и неорганических ингибиторов. Вторичные отходы производства привлекла больше внимания, потому что поощряет использование вторичных материалов во всех сферах жизни. Это, в свою очередь, снижает риск для здоровья человека и загрязнения окружающей среды. Вторичные отходы применялась для ингибирования коррозии различных металлов. Сообщалось, что кротоновую фракцию с аминсодержащими соединениями можно использовать в качестве ингибиторов

коррозии, поскольку они могут легко адсорбироваться на поверхности металла за счет свободных электронов, ароматических колец, π-связей, полярных функциональных групп, которые присутствуют в них и служат центрами адсорбции [2].

**Экспериментальная часть.** В данной работе изучены олигомерные ингибиторы коррозии на основе полиэтиленполиамины с кротоновым альдегидом (ПКА-1). Использовалась низкоуглеродистая сталь (~1см×1см×0,1см) с массовым содержанием С (0,15%), Mn (1,00%), P (0,035%), S (0,035%), Si (0,30%) и Fe (98,48%) для этого исследования.

Все использованные образцы мягкой стали были очищены, промыты ацетоном, высушены на воздухе и предварительно взвешены перед погружением в растворы 1М HCl (контроль) и 1М HCl, содержащие ингибиторы коррозии с концентрацией 15, 30 и 50 г/л. Образцы были испытаны в трех экземплярах для каждой концентрации при различных температурах 301, 313 и 323 К. Изменение веса мягких сталей проверяли каждые 2 дня в течение 16 дней. Скорости коррозии (CR) мягкой стали, покрытие поверхности θ

и эффективность ингибирования IE были рассчитаны с использованием уравнений 1, 2 и 3 соответственно.

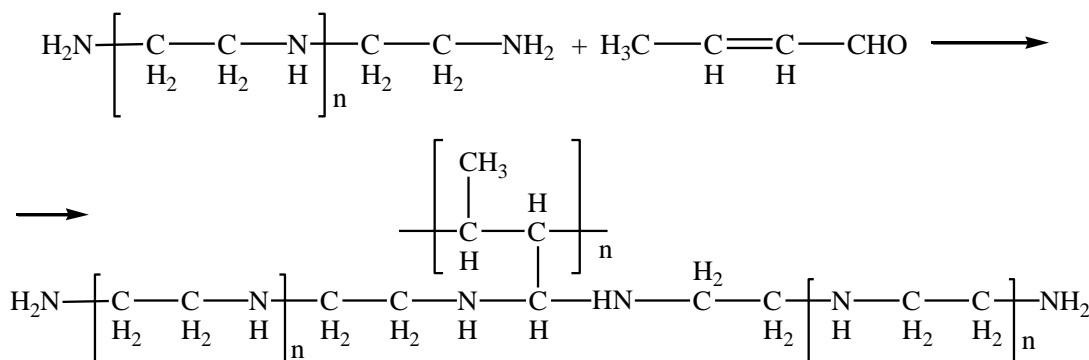
$$CR = \frac{K\Delta w}{\rho A t} \quad (1)$$

$$\theta = \left( \frac{w_1}{w_2} \right) \quad (2)$$

$$IE = \left( \frac{w_1}{w_2} \right) \times 100 \quad (3)$$

Δw - изменение веса в мг, K - постоянная коррозии (87,6), ρ - плотность мягкой стали в г/см<sup>3</sup>, A - площадь образца мягкой стали в см<sup>2</sup>, а t - время в часах. Потеря массы купона в электролите с ингибитором равна w<sub>1</sub>, а w<sub>2</sub> - потеря массы купона в электролите без ингибитора.

Реакцию полиэтиленполиамины (ПЭПА) с кротоновым альдегидом (КА) проводили в диметилформамиде при 50 °С в течении 2 часа, при мольном соотношении 1:1. Схему реакции ПЭПА с КА можно представить следующим образом:



Из рисунка 1 видно, что в ИК-спектре ПКА-1 появляются характерные полосы -N-CH- при 1663 см<sup>-1</sup>, а также концевые NH<sub>2</sub>-группы появляются в области 657 см<sup>-1</sup>. В области 2935 и 2808 см<sup>-1</sup> и 1091 см<sup>-1</sup>

появляются характерные полосы для CH- и CH<sub>2</sub>-групп, а также деформационные колебания в области 1440 см<sup>-1</sup>. В области 1384 см<sup>-1</sup> появляются полосы относящейся CH<sub>3</sub>-группам.

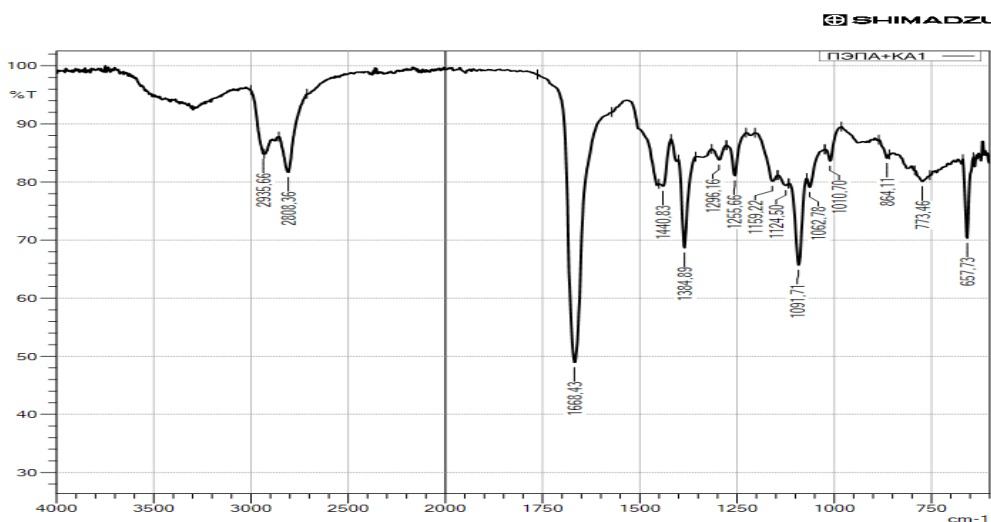


Рисунок 1. ИК-спектр олигомера ПЭПА с КА (ПКА-1)

**Полученные результаты и их обсуждение.** В таблице 1 показаны скорости коррозии и эффективность ингибирования, полученные в результате испытаний на основе гравиметрического метода. Результаты показали, что с повышением температуры среды потеря веса испытуемого образца уменьшается. Аналогичным образом, когда концентрация

ингибитора увеличивается, потеря веса уменьшается, несмотря на повышение температуры. Используя холостые образцы (0,0 г/мл) в качестве ссылки на результаты с образцами, содержащими ингибитор, было видно, что ПКА-1 действует как эффективный ингибитор коррозии на мягкой стали. Чем ниже скорость коррозии, тем выше эффективность ингибирования коррозии.

Таблица 1.

Скорость коррозии и эффективность ингибирования ингибитора ПКА-1

Температура (К)	Концентрация (г/л)	Δw (г)	Покрытие поверхности (θ)	Эффективность ингибирования (% IE)	Скорость коррозии (мм/год)
301	0.0	0.7156	-	-	3.7865
	15	0.4756	0.7554	75.54	2.8654
	30	0.3678	0.8344	83.44	2.3103
	50	0.1867	0.9365	93.65	1.2061
313	0.0g	0.6051	-	-	3.6798
	15	0.3235	0.7386	73.86	2.1986
	30	0.2673	0.8132	81.32	1.3214
	50	0.1994	0.9108	91.08	1.1865
323	0.0	0.5806	-	-	3.4559
	15	0.3137	0.7172	71.72	2.1655
	30	0.2366	0.7930	79.30	1.3894
	50	0.2158	0.8753	87.53	1.231

Изотерма адсорбции часто применяется для изучения типа взаимодействия молекул с поверхностью металла при определенных условиях (температуре). Изотермы Ленгмюра и Темкина были использованы для анализа наилучшего соответствия реакции ингибирования между молекулами ПКА-1 и поверхностью мягкой стали. Данные анализа потери веса

были подогнаны к модифицированной форме изотерм Ленгмюра и Темкина для определения адсорбционного поведения ингибитора на поверхности мягкой стали, и данные соответствуют обеим изотермам. Параметры, полученные из изотерм, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры изотермы

Температура (К)	Параметры изотермы Ленгмюра			Параметры изотермы Темкина		
	$K_{ads} \cdot 10^4$ (/мг)	1/год	$\Delta G_{ads}$ (кДж/моль)	a	K	$\Delta G_{ads}$ (кДж/моль)
301	3.65	0.63	-37.34	-1.6871	167.14	-23.02
313	3.01	0.91	-36.47	-2.7613	188.96	-24.35
323	2.42	0.86	-37.07	-2.2314	172.73	-24.61

Изотерма Ленгмюра имеет следующий вид [3]:

$$\log \frac{\theta}{1-\theta} = \log K - y \log C \quad (4)$$

где y - количество молекул ингибитора, занимающих активный центр, θ - степень покрытия поверхности, C - концентрация ингибирования, K - константа, связанная с константой равновесия процесса адсорбции, а  $K_{ads} = K^{1/y}$ . Стандартная свободная энергия была рассчитана с использованием уравнения 5 [4].

$$\Delta G_{ads} = -2.303RT \log(55.5K_{ads}) \quad (5)$$

Стандартная свободная энергия адсорбции ( $\Delta G^{\circ}_{ads}$ ), полученная из экспериментальных данных с использованием изотерм адсорбции Ленгмюра, дала отрицательные значения при всех температурах. Известно, что отрицательные значения  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  подразумевают процесс самопроизвольной адсорбции. Было высказано предположение, что стандартные значения свободной энергии адсорбции ( $\Delta G^{\circ}_{ads}$ ) до -20 кДж/моль указывают на электростатические взаимодействия (физическую адсорбцию) между заряженной поверхностью металла и ингибитором. С другой стороны, значения  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  порядка -40 кДж/моль и выше показывают, что существует перенос заряда (хемосорбция) от органических молекул к поверхности металла.

Высокие значения  $K_{ads}$  при более низкой температуре указывают на то, что адсорбция более подходящая при более низкой температуре [5]. График изотермы Ленгмюра приведен на рисунке 2.

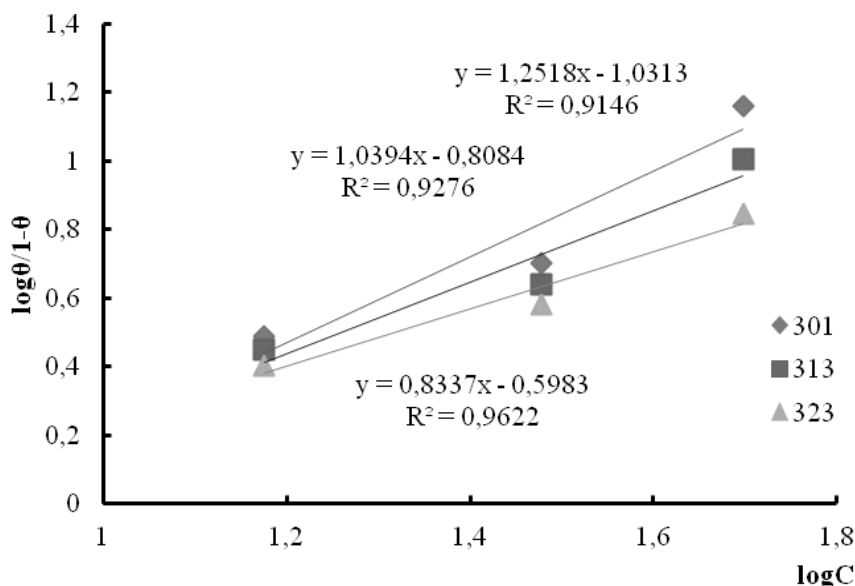


Рисунок 2. График изотермы Ленгмюра

Полученные значения  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  показали, что ПКА-1 показывает комплексное поведение (комбинированный эффект), и значения уменьшаются с повышением температуры. Процесс адсорбции может больше подходить на физическую адсорбцию из-за снижения эффективности ингибирования с повышением температуры.

Изотерма Темкина показывает степень покрытия поверхности ( $\theta$ ) относительно концентрации ингибитора (C), как показано в уравнении 6 [6]. График изотермы Темкина приведен на рисунке 3.

$$\theta = \frac{-2.303 \log K}{2\alpha} - \frac{2.303 \log C}{2\alpha} \quad (6)$$

Значения параметра притяжения ( $\alpha$ ) отрицательны при каждой температуре, что означает, что в адсорбционном слое существует отталкивание [6]. Значения  $\Delta G^{\circ}_{ads}$ , полученные из изотермы Темкина, отрицательны и означают полную адсорбцию, аналогичную значениям, полученным из изотермы Ленгмюра.

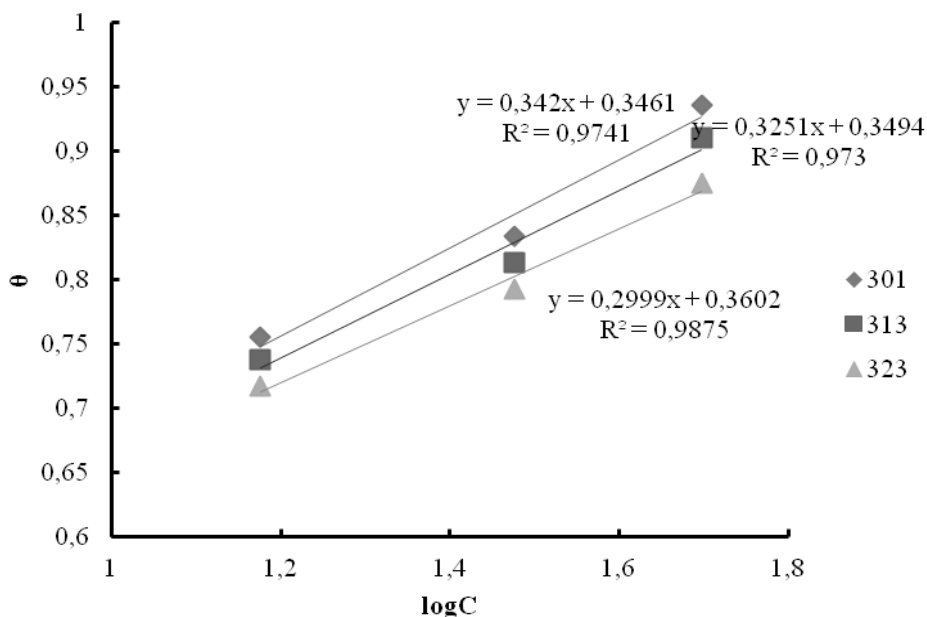


Рисунок 3. График изотермы Темкина

**Закключение.** Из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Скорость коррозии снижается с увеличением концентрации ингибитора.
- Эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации, но уменьшается с повышением температуры.

- Наивысшая эффективность ингибирования 93,65% была достигнута при 301 К и концентрации 50 г/л.

- Экспериментальные данные соответствуют изотермам Ленгмюра и Темкина.

- Адсорбция ингибитора на поверхности металла была самопроизвольной в результате как физического, так и химического взаимодействия.

#### Список литературы:

1. M.N. Rahuma, M.B. EL-Sabbah, I.M. Hamad, Effect of serine and methionine on electrochemical behavior of the corrosion of mild steel in aqueous solutions. Hindawi Publishing Corporation, ISRN, Corrosion: (2013) pp 1-7.
2. Нуриллоев З.И., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т. Исследование ингибирование коррозии стали 20 в1М растворах H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, исследованных методом атомно-абсорбционной спектрометрии // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2019. No 2(59). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6947>
3. R. Karthikaiselvi, S. Subhashini, Study of adsorption properties and inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid media by water soluble composite poly (vinyl alcohol-o-methoxy aniline). J. Assoc. Arab Univ. Basic Appl. Sci., 16 (2014) 74–82
4. K.D. Ogwo, J.C. Osuwa, I.E. Udoinyang, L.A. Nnanna, Corrosion Inhibition of Mild Steel and Aluminium in 1 M Hydrochloric Acid by Leaves Extracts of Ficus sycomorus//Physical Science International Journal. 2017. V. 14. №3. P. 1-10 DOI: 10.9734/PSIJ/2017/32708
5. Нуриллоев З.И., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т. Исследование ингибирование коррозии стали СТ20 новым ингибитором ИКФ-1 // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2020. No 6(75). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/9616>
6. A.A. El-Awady, B.A. Abd-El-Nabey, S.G. Aziz, Kinetic–thermodynamic and adsorption isotherms analyses for the inhibition of the acid corrosion of steel by cyclic and open-chain amines. Electrochem. Soc. 139 (1992) 2149–2154.