

## РОЗДІЛ II. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 620.197.3

**Е.С. Бондарь**, канд. техн. наук

**И.Н. Курмакова**, канд. хим. наук

**А.П. Makeй**, ассистент

Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина

### ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СОКА ALOE VERA И КОМПОЗИЦИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ ПРИ КОРРОЗИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**О.С. Бондар**, канд. техн. наук

**І.М. Курмакова**, канд. хім. наук

**О.П. Makeй**, асистент

Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна

### ІНГІБУВАЛЬНА ДІЯ СОКУ ALOE VERA ТА КОМПОЗИЦІЙ НА ЙОГО ОСНОВІ ПРИ КОРОЗІЇ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

**Elena Bondar**, PhD in Technical Sciences

**Irina Kurmakova**, PhD in Chemical Sciences

**Aleksandr Makey**, assistant

Chemigov National Pedagogical University named after T.G. Shevchenko, Chernigov, Ukraine

### INHIBITION ACTION OF ALOE VERA AND COMPOSITIONS ON ITS BASIS UNDER MILD STEEL CORROSION

*Исследовано ингибирующее действие сока Aloe Vera при коррозии малоуглеродистой стали в нейтральной (10 % NaCl) и кислых (2M и 5M CH<sub>3</sub>COOH, 0,1 M HCl, 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) средах. Установлено, что в 5M CH<sub>3</sub>COOH защитный эффект стали Ст3пс составляет до 89 %, а в 1M серной кислоте – до 72 % при концентрации сока Aloe Vera 20 г/л. Предложено синергетическую композицию сока Aloe Vera и производного оксадиазола – 5-метил-[1,3,4]оксадиазол-2-иламина, которая обеспечивает до 85 % защиты в 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Установлено, что синергетическое действие композиции обусловлено их влиянием на поверхностную активность ингибитора.*

**Ключевые слова:** сок Aloe Vera, ингибитор, коррозия, синергетическая композиция.

*Досліджено інгібувальну дію соку Aloe Vera при корозії маловуглецевої сталі в нейтральному (10 % NaCl) та кислих (2M і 5M CH<sub>3</sub>COOH, 0,1 M HCl, 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) середовищах. Встановлено, що у 5M CH<sub>3</sub>COOH кислоті ступінь захисту сталі Ст3пс становить до 89%, а у 1M сульфатній кислоті ступінь захисту сталі Ст3пс становить до 72 % при концентрації соку Aloe Vera 20 г/л. Запропоновано синергетичні композиції соку Aloe Vera та похідного оксадіазолу – 5-метил-[1,3,4]оксадіазол-2-іламіну, яка забезпечує захист до 85 %. Встановлено, що синергетична дія компонентів композиції зумовлена їх впливом на поверхневу активність інгібітора.*

**Ключові слова:** сік Aloe Vera, інгібітор, корозія, синергетична композиція.

*Investigated inhibition action of juice Aloe Vera of mild steel corrosion in neutral (10 % NaCl) and acid (2M and 5M CH<sub>3</sub>COOH, 0,1 M HCl, 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) medium. Established that in 5M CH<sub>3</sub>COOH the protective effect of steel St3ps makes to 89 % and in 1M sulfuric acid up to 72 % at concentration of juice Aloe Vera 20 g/l. The synergetic composition of juice Aloe Vera and 5-methyl-[1,3,4] oxadiazol-2-ylamine which provides to 85 % of protection. Established that synergetic action of components in composition is caused by their influence on superficial activity of inhibitor.*

**Key words:** Aloe Vera juice, inhibitor, corrosion, synergetic composition.

**Постановка проблеми.** Металлы и их сплавы являются наиболее распространенными конструкционными материалами. Одна из проблем их использования – коррозионное разрушение как результат взаимодействия со средой, в которой они эксплуатируются. Ежегодные потери от коррозии оцениваются в США в 5,5 млрд дол, в Японии – в 9,2 млрд дол. Важность решения этой проблемы определяется такими факторами, как повышение надежности металлоконструкций и уменьшение потерь металла, которые для стали оцениваются от 10 до 20 % ее годового производства [1]. Надежным и эффективным средством защиты металлов от коррозии является применение ингибиторов. В связи с повышением экологических требований к противокоррозионной защите, актуальным является разработка малотоксичных синергетических композиций на основе растительного сырья. Перспективность использования растительного сырья обусловлена тем, что ежегодно в мире перерабатываются тысячи тонн различных культур и образуется огромное количество дешевых отходов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ингибиторы на основе растительного сырья (косточковые отходы плодово-ягодных культур, семена растений, горчичное масло, экстракты) предложены в работах Е.Э. Чигиринец [2], О.И. Сизой [3], Е.Е. Oguzie [4], P.B. Raja [5].

Эффективность в противокоррозионной защите установлена для экстрактов таких растений как *Rauvolfia serpentina* [5], *Flacourti jangomas* [6], *Piper nigrum* [7], *Nyctanthes arbortristis* [8], *Eclipta alba* [9], *Azadirachta indica* [4], *Sida rhombifolia L* [10], *Medicago Sativa* [11], *Cyamopsis tetragonaloba* [12], листья хны [14] и др.

Анализ публикаций показывает интерес к исследованию противокоррозионных свойств *Aloe Vera* [14–17]. Показано, что водный экстракт листьев *Aloe Vera* обеспечивает до 88 % защиты при коррозии алюминия в 0,5М HCl при 30 °C [14], до 80 % – при коррозии цинка в 2 М HCl [15] и до 71 % – при коррозии меди в 2 М HCl [16]. Исследования экстракта *Aloe Vera* на углеродистой стали проведено авторами [17] в морской воде, и выявлено высокий защитный эффект – до 98 % при использовании 4 мл экстракта на 100 мл коррозионной среды. При этом данных исследования ингибиторов на основе *Aloe Vera* для защиты малоуглеродистой стали в кислых средах в доступных нам источниках не найдено.

**Формулирование целей статьи.** Цель работы – оценить ингибирующее действие сока *Aloe Vera* при коррозии стали Ст3пс в кислых и нейтральной средах и разработать синергетическую композицию на его основе.

**Изложение основного материала исследований.** Сок *Aloe Vera* получали механическим выдавливанием из листьев растения. Согласно [18] в его состав входят органические кислоты (яблочная, лимонная, изолимонная, фумаровая, малоновая, щавелевая) – 4,92 мг/мл; аминокислоты (аспарагин, аланин, глутамин, лейцин, орнитин, фенилаланин, пролин, серин, триптофан, валин) – 0,36 мг/мл; углеводы (глюкоза и сахароза) – 11,62 мг/мл; пироновые соединения – 1,05 мг/мл. Содержание сухих веществ составляет 2,4 %.

В качестве потенциальных синергистов исследовали 5-замещенные-2-амино-1,3,4-оксадиазолы, полученные при взаимодействии соответствующего гидразида карбоновой кислоты и бромциана [19]. Структура полученных соединений подтверждена методом ПМР-спектromетрии (DPX-400, растворитель ДМСО- $d_6$ , внутренний стандарт ТМС).

Эффективные заряды на атомах молекул производных оксадиазола и их энергетические характеристики рассчитывали с помощью компьютерной программы Hyperchem 7.0. (Hypercube, Inc.) по методу РМ 3.

Эффективность ингибиторов оценивали гравиметрическим методом [20] с использованием пластин малоуглеродистой стали Ст3пс (площадь поверхности 12 см<sup>2</sup>). Рассчитывали скорость коррозии без и в присутствии ингибитора ( $K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$ , где  $\Delta m$  – потеря массы образца, г;  $S$  – площадь образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, час), глубинный показатель ( $\Pi = K_m \cdot 8,76 \cdot 10^{-3} / 7,86$ , мм/год; где 7,86 – плотность стали г/см<sup>3</sup>), коэффициент торможения коррозии ( $\gamma = K_m / K_m'$ , где  $K_m, K_m'$  – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора), степень защиты ( $Z = 1 - 1/\gamma$ ).

В качестве коррозионных сред использовали кислотные (2М СН<sub>3</sub>СООН, 5М СН<sub>3</sub>СООН, 1М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,1М HCl) и нейтральный (10 % NaCl) водные растворы. Время испытаний – 24 часа, температура – 20 °C. Концентрация ингибиторов 1–20 г/л. Статистическую обработку результатов при определении скорости коррозии проводили для уровня вероятности 0,95 при числе измерений  $n = 5$ . Относительная ошибка не превышает 10 %.

Поверхностную активность ингибиторов оценивали по величине краевого угла смачивания поверхности ( $\theta$ ), который определяли по фотографиям капель растворов, полученных с использованием микроскопа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ингибиторы на основе растительного сырья (косточковые отходы плодово-ягодных культур, семена растений, горчичное масло, экстракты) предложены в работах Е.Э. Чигиринец [2], О.И. Сизой [3], Е.Е. Oguzie [4], P.B. Raja [5].

Эффективность в противокоррозионной защите установлена для экстрактов таких растений как *Rauvolfia serpentina* [5], *Flacourti jangomas* [6], *Piper nigrum* [7], *Nyctanthes arbortristis* [8], *Eclipta alba* [9], *Azadirachta indica* [4], *Sida rhombifolia L* [10], *Medicago Sativa* [11], *Cyamopsis tetragonaloba* [12], листья хны [14] и др.

Анализ публикаций показывает интерес к исследованию противокоррозионных свойств *Aloe Vera* [14–17]. Показано, что водный экстракт листьев *Aloe Vera* обеспечивает до 88 % защиты при коррозии алюминия в 0,5М HCl при 30 °C [14], до 80 % – при коррозии цинка в 2 М HCl [15] и до 71 % – при коррозии меди в 2 М HCl [16]. Исследования экстракта *Aloe Vera* на углеродистой стали проведено авторами [17] в морской воде, и выявлено высокий защитный эффект – до 98 % при использовании 4 мл экстракта на 100 мл коррозионной среды. При этом данных исследования ингибиторов на основе *Aloe Vera* для защиты малоуглеродистой стали в кислых средах в доступных нам источниках не найдено.

**Формулирование целей статьи.** Цель работы – оценить ингибирующее действие сока *Aloe Vera* при коррозии стали Ст3пс в кислых и нейтральной средах и разработать синергетическую композицию на его основе.

**Изложение основного материала исследований.** Сок *Aloe Vera* получали механическим выдавливанием из листьев растения. Согласно [18] в его состав входят органические кислоты (яблочная, лимонная, изолимонная, фумаровая, малоновая, щавелевая) – 4,92 мг/мл; аминокислоты (аспарагин, аланин, глутамин, лейцин, орнитин, фенилаланин, пролин, серин, триптофан, валин) – 0,36 мг/мл; углеводы (глюкоза и сахароза) – 11,62 мг/мл; пироновые соединения – 1,05 мг/мл. Содержание сухих веществ составляет 2,4 %.

В качестве потенциальных синергистов исследовали 5-замещенные-2-амино-1,3,4-оксадиазолы, полученные при взаимодействии соответствующего гидразида карбоновой кислоты и бромциана [19]. Структура полученных соединений подтверждена методом ПМР-спектromетрии (DPX-400, растворитель ДМСО- $d_6$ , внутренний стандарт ТМС).

Эффективные заряды на атомах молекул производных оксадиазола и их энергетические характеристики рассчитывали с помощью компьютерной программы Hyperchem 7.0. (Hypercube, Inc.) по методу РМ 3.

Эффективность ингибиторов оценивали гравиметрическим методом [20] с использованием пластин малоуглеродистой стали Ст3пс (площадь поверхности 12 см<sup>2</sup>). Рассчитывали скорость коррозии без и в присутствии ингибитора ( $K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$ , где  $\Delta m$  – потеря массы образца, г;  $S$  – площадь образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, час), глубинный показатель ( $\Pi = K_m \cdot 8,76 \cdot 10^{-3} / 7,86$ , мм/год; где 7,86 – плотность стали г/см<sup>3</sup>), коэффициент торможения коррозии ( $\gamma = K_m / K_m'$ , где  $K_m, K_m'$  – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора), степень защиты ( $Z = 1 - 1/\gamma$ ).

В качестве коррозионных сред использовали кислотные (2М СН<sub>3</sub>СООН, 5М СН<sub>3</sub>СООН, 1М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,1М HCl) и нейтральный (10 % NaCl) водные растворы. Время испытаний – 24 часа, температура – 20 °C. Концентрация ингибиторов 1–20 г/л. Статистическую обработку результатов при определении скорости коррозии проводили для уровня вероятности 0,95 при числе измерений  $n = 5$ . Относительная ошибка не превышает 10 %.

Поверхностную активность ингибиторов оценивали по величине краевого угла смачивания поверхности ( $\theta$ ), который определяли по фотографиям капель растворов, полученных с использованием микроскопа.

Ингибирующие композиции сока *Aloe Vera* с производными оксадиазола готовили путем смешивания компонентов. Коэффициент синергизма рассчитывали по формуле  $\gamma_{\text{син}} = \gamma_{\text{комп}} / (\gamma_1 + \gamma_2 - 1)$ ,  $\gamma_1, \gamma_2$  – коэффициенты торможения компонентов композиции при соответствующих концентрациях.

Исследование влияния сока *Aloe Vera* на коррозию стали Ст3пс показало, что он проявляет противокоррозионную активность в нейтральной и кислых средах (табл. 1). Большая степень защиты обеспечивается в растворах уксусной и серной кислот, в которых поверхность стали заряжена положительно [21]. Причем с уменьшением pH, что показано на примере уксусной кислоты, ингибирующее действие возрастает.

Таблица 1

Показатели коррозии стали Ст3пс в нейтральной и кислых средах ( $C = 20$  г/л)

Коррозионная среда	pH	П, мм/год	$K_m$ , г/(м <sup>2</sup> ·час)	$\gamma$	Z %
10 % NaCl	7,0	0,20	0,18	-	-
10 % NaCl + <i>Aloe Vera</i>	7,0	0,16	0,14	1,28	21,9
2M CH <sub>3</sub> COOH	2,2	1,81	1,62	-	-
2M CH <sub>3</sub> COOH + <i>Aloe Vera</i>	2,2	0,68	0,61	2,64	62,1
5M CH <sub>3</sub> COOH	2,0	6,73	6,01	-	-
5M CH <sub>3</sub> COOH + <i>Aloe Vera</i>	2,0	0,76	0,68	8,84	88,7
0,1M HCl	1,0	1,54	1,38	-	-
0,1M HCl + <i>Aloe Vera</i>	1,0	0,92	0,82	1,68	40,3
1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	14,40	12,84	-	-
1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + <i>Aloe Vera</i>	0	4,00	3,57	3,6	72,2

Защитные свойства сока *Aloe Vera* могут быть обусловлены содержанием в нем аминокислот. В частности, авторами [22] установлено, что такие аминокислоты, как аланин, лизин, аспарагин проявляют защитное действие до 77 % при коррозии углеродистой стали в 0,1 М растворе серной кислоты.

С повышением концентрации сока коэффициент торможения коррозии увеличивается, что показано на рис. для растворов 5M CH<sub>3</sub>COOH.

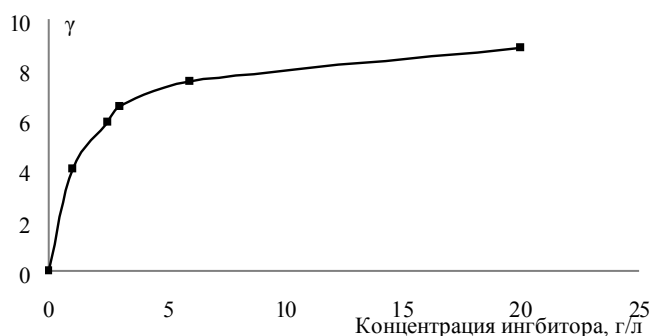


Рис. График зависимости коэффициента торможения коррозии от концентрации сока *Aloe Vera*

Повысить эффективность ингибитора можно путем создания синергетической композиции. С этой целью нами исследовано ряд синтезированных производных оксадиазола (табл. 2), адсорбционно-реакционные центры гетероцикла которых заряжены отрицательно, что способствует их взаимодействию с положительно заряженными участками поверхности металла.

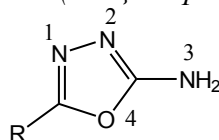
Установлено, что Ин 1-3 замедляют скорость коррозии стали в 1M серной кислоте в 2,08–2,61 раз (табл. 2). При этом установлена корреляция между значением  $\gamma$  и зарядом на атомах N(1) и N(3). Коэффициент торможения увеличивается с возрастанием отрицательного заряда на N(1) ( $\gamma = -3,668q + 2,344$ ;  $R^2 = 0,998$ ) и уменьшением положительного заряда на N(3) ( $\gamma = -13,765q + 4,580$ ;  $R^2 = 0,954$ ). Это дает основание

VISNYK OF CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

предположить, что указанные атомы азота являются основными адсорбционно-реакционными центрами производных оксадиазола.

Таблица 2

Распределение зарядов на адсорбционно-реакционных центрах производных оксадиазола и их противокоррозионные свойства (концентрация 1 г/л) в растворе 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Ин	R	γ	Заряды на адсорбционно-реакционных центрах			
			N(1)	N(2)	N(3)	O(4)
1	-H	2,52	-0,046	-0,198	0,147	-0,139
2	-CH <sub>3</sub>	2,61	-0,067	-0,143	0,148	-0,119
3	-CF <sub>3</sub>	2,08	0,067	-0,206	0,180	-0,091

Результаты исследования композиций сока *Aloe Vera* с ингибиторами 1–3 представлены в табл. 3. Установлено, что в случае композиции с Ин 2, ее компоненты проявляют синергизм действия. Это позволяет увеличить степень защиты стали в 1М растворе серной кислоты до 84,6 %.

Таблица 3

Показатели ингибирующего действия и поверхностной активности композиций (20 г/л сока *Aloe Vera* + 1 г/л Ин) на коррозию стали СтЗпс в 1М растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Состав композиции	К <sub>м</sub> , г/(м <sup>2</sup> ·час)	П, мм/год	γ	Z, %	γ <sub>снн</sub>	cos θ
<i>Aloe Vera</i> + Ин 1	3,10	3,47	4,1	75,6	0,80	0,913
<i>Aloe Vera</i> + Ин 2	1,98	2,21	6,5	84,6	1,24	0,906
<i>Aloe Vera</i> + Ин 3	3,44	3,85	3,7	72,9	0,79	0,951

Для объяснения синергетического эффекта устанавливали влияние производных оксадиазола в составе ингибирующих композиций на гидрофильность поверхности стали. Адсорбция композиций приводит к уменьшению гидрофильности поверхности стали, на что указывает сравнение величины краевого угла смачивания ингибированного (табл. 3) и неингибированного (cos θ = 0,956) растворов 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. При этом сок *Aloe Vera* не влияет на величину краевого угла смачивания. Наибольшее влияние установлено для композиции с Ин 2, что и обеспечивает синергетический эффект при ингибирующей композиции.

Таким образом, синергизм компонентов композиции с Ин 2 можно объяснить наибольшим влиянием синергетической добавки на поверхностную активность ингибитора, что обеспечивает уменьшение гидрофильности поверхности стали.

**Выводы.** Установлено, что сок *Aloe Vera* при концентрации 20 г/л обеспечивает степень защиты стали СтЗпс в 5М растворе уксусной кислоты до 89 %, а в 1М серной кислоты – до 72 %. Предложено синергетическую композицию сока *Aloe Vera* и производного оксадиазола – 5-метил-[1,3,4]оксадиазол-2-иламина, которая обеспечивает до 85 % защиты в 1М растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Синергетическое действие компонентов композиции обусловлено влиянием синергетической добавки на поверхностную активность ингибитора, в частности уменьшение способности коррозионной среды смачивать поверхность стали.

#### Список использованных источников

1. Древаль О. Ю. Экономическая оценка экологически обусловленных коррозионных потерь : дис. ... канд. экон. наук : спец. 08.08.01 / Ольга Юрьевна Древаль. – Суми, 2005. – 174 с.
2. Чигиринець О. Е. Визначення протикорозійної ефективності рослинних екстрактів / О. Е. Чигиринець, В. І. Воробйова // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2010. – № 6. – С. 152–156.

3. *Протикорозійні* властивості продуктів переробки рослинної сировини / О. Сиза, О. Корольов, О. Савченко [та ін.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спецвипуск журналу № 5, т. 2. – С. 874–879.
4. *Oguzie E. E.* Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel / E.E. Oguzie // Corrosion Science. – 2008. Vol. 50. – P. 2993–2997.
5. *Raja P. B.* Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media / P. B. Raja, M. G. Sethuraman // Materials Letters. – 2008. – Vol. 62. – P. 113–116.
6. *Hasan S. K.* Paniaala (Flacourtia Jangomas) Plant Extract as Eco Friendly Inhibitor on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media / S. K. Hasan, P. Sisodia // RASAYAN Journal of Chemistry. – 2011. – Vol.4, No.3. – P. 548–553.
7. *Quraishi M. A.* Green Approach to Corrosion Inhibition by Black Pepper Extract in Hydrochloric Acid Solution / M.A. Quraishi, D.K. Yadav, I. Ahamad // The Open Corrosion Journal. – 2009. – Vol. 2. – P. 56–60.
8. *Saratha R.* Inhibition of Mild Steel Corrosion in 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Medium by Acid Extract of Nyc-tanthes arbortristis Leaves / R. Saratha, V.G. Vasudha // E-Journal of Chemistry. – 2009. – Vol. 6, №4. – P. 1003–1008.
9. *Shyamala M.* Eclipta Alba as Corrosion Pickling Inhibitor on Mild Steel in Hydrochloric Acid / M. Shyamala, A. Arulanantham // Journal Of Materials Science & Technology. – 2009. – Vol. 25. – P. 633–636.
10. *Saratha R.* Corrosion inhibitor-A plant extract / R. Saratha, R. Meenakshi // Der Pharma Chemica. – 2010. – Vol. 2, №1. – P. 287–294.
11. *Al-Turkustani A. M.* Medicago Sativa plant as safe inhibitor on the corrosion of steel in 2.0M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution / A.M. Al-Turkustani, S.T. Arab, L.S.S. Al-Qarni // Journal of Saudi Chemical society. – 2011. – Vol. 15. – P. 73–82.
12. *Subhashini S.* Corrosion mitigating effect of Cyamopsis Tetragonaloba seed extract on mild steel in acid medium / S. Subhashini, R. Rajalakshmi, A. Prithiba // E-Journal of Chemistry. – 2010. – Vol. 7. – P. 1133–1137.
13. *Ehteram A. N.* Temperature Effects on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Solutions by Aqueous Extract of Fenugreek Leaves / A. N. Ehteram // International Journal Electrochemical Science. – 2007. – Vol.2. – P. 996–1017.
14. *Abiola O. K.* The effects of Aloe vera extract on corrosion and kinetics of corrosion process of zinc in HCl solution / O.K. Abiola, A.O. James // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 51. – P. 1879–1882.
15. *Al-Turkustani A. M.* Aloe Plant Extract as Environmentally Friendly Inhibitor on the Corrosion of Aluminum in Hydrochloric Acid in Absence and Presence of Iodide Ions / A. M. Al-Turkustani, S.T. Arab, R.H. Al-Dahiri // Modern Applied Science. – 2010. – Vol. 4, № 5. – P. 105–124.
16. *Hart K.* The Inhibitive Effect of Aloe Vera Barbadosensis Gel on Copper in Hydrochloric Acid Medium / K. Hart, A.O. James // Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 5(1). – P. 24–29.
17. *Sribharathy V.* Corrosion Inhibition By An Aqueous Extract Of Aloe Vera (L.) Burm F.(Liliaceae) / V. Sribharathy, S. Rajendran, P. Rengan, R. Nagalakshmi // European Chemical Bulletin. – 2013. – Vol. 2(7). – P. 471–476.
18. *Химический* состав сока алое древовидного (Aloe arborescens Mill.) и его антиоксидантная активность (in vitro) / Д. Н. Оленников, И. Н. Зилфикаров, Т. А. Ибрагимов [и др.] // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 83–90.
19. *Vachkovskii I. P.* 1,3,4-Oxadiazolo[3,2-a]pyrimidinium salts / I.P. Vachkovskii, V.A. Chuiguk // Chemistry of Heterocyclic Compounds. – 1975. – Vol. 11. – P. 1272–1277.
20. *Фокин М. Н.* Методы коррозионных испытаний металлов / М. Н. Фокин, К. А. Жигалов ; под ред. Я. М. Колодыркина. – М. : Металлургия, 1986. – 80 с.
21. *Иванов Е. С.* Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах / Е. С. Иванов. – М. : Металлургия, 1986. – 174 с.
22. *Огородникова Н. П.* Поведение стали в кислых средах, содержащих аминокислоты, как модель возможного окислительного растворения железа / Н. П. Огородникова, Н. Н. Старкова, Ю. И. Рябухин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2006. – № 6 (35). – С. 51–55.