



**ИЗУЧЕНИЕ ИНГИБИРОВАНИЯ КОРРОЗИИ СТАЛИ Ст 20 С
ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТИВНОГО ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ИКФ-3.**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13938579>

Нуриллоев Зафар Исмаиллоевич

д-р техн. наук, доцент. Бухарского инженерно-технологического института

Республика Узбекистан, Бухарская область, г. Бухара. E-mail:

zafarnurilloev@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье исследовано ингибитор кротонного альдегида и тиомочевины ИКФ-3 на основе поликротонолтиомочевины, которые, действуя как новые ингибиторы коррозии для стали Ст20 в растворе соляной кислоты (HCl), были оценены электрохимическими измерениями, измерением потери веса и сканирующей электронной микроскопией. Потенциодинамическое измерение поляризации показывает, что синтезированная ингибитор являются эффективными ингибиторами смешанного типа. Эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации ингибитора, уменьшается с увеличением концентрации HCl и температуры.

ABSTRACT

The article investigated an ICF-3 inhibitor based on polycrotonol-diamidophosphate, which, acting as new corrosion inhibitors for steel St20 in a solution of hydrochloric acid (HCl), were evaluated by electrochemical measurements, weight loss measurements, and scanning electron microscopy. The potentiodynamic measurement of polarization shows that the synthesized inhibitor are effective mixed type inhibitors. The effectiveness of inhibition increases with increasing concentration of the inhibitor, decreases with increasing concentration of HCl and temperature.

Ключевые слова

поликротонолтиомочевины, ингибитор коррозии, кротонный альдегид, мочевины, коррозия металла.

Key words

polycrotonol diamidophosphate, corrosion inhibitor, crotonic aldehyde, diamidophosphate, metal corrosion.

Введение. Кислотные растворы использовались для очистки, химической очистки и травления различных металлических конструкций и оборудования в промышленности [1]. Кислотное травление стали является важным этапом



обработки для удаления оксидов, образующихся при отжиге и горячей прокатке [2]. На самом деле, использование ингибиторов коррозии во время кислотного травления стали, кажется, становится все более и более важным из-за наличия нежелательного и обширного воздействия [3], которое считается одним из наиболее практичных методов защиты металлов от коррозии и растворение [4]. По сравнению с другими существующими технологиями защиты от коррозии использование ингибиторов коррозии является эффективным и многообещающим методом с несколькими преимуществами: не требуется специального оборудования, низкой стоимостью и простотой эксплуатации и т.д.

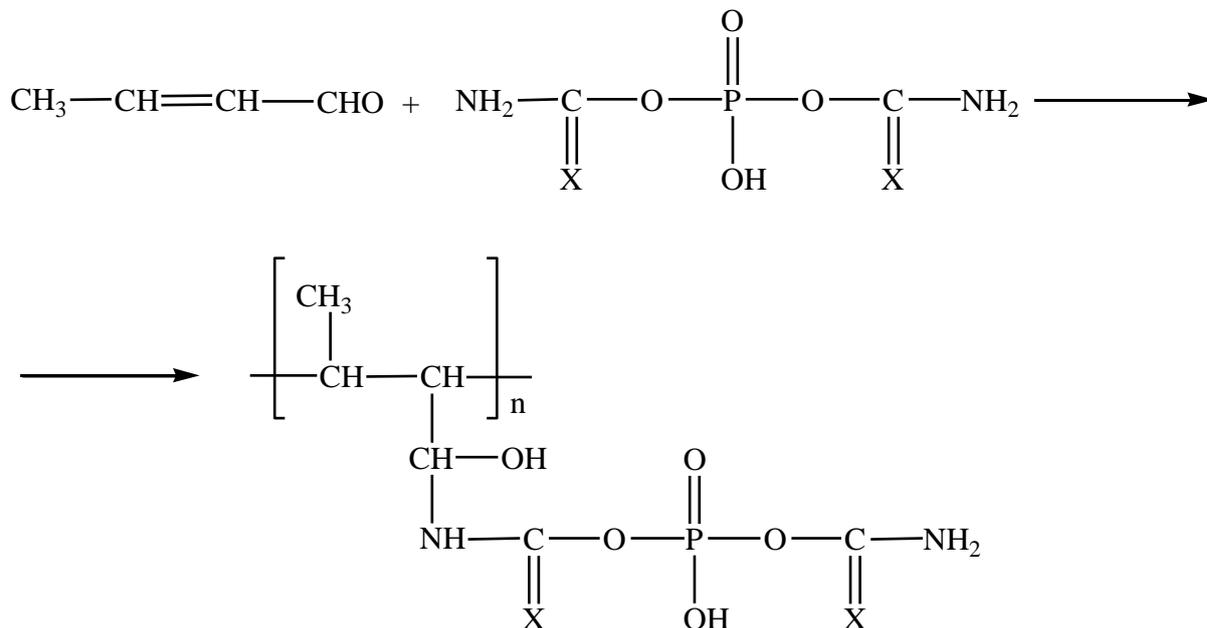
Для разработки нового эффективного ингибитора коррозии и целью настоящей работы является исследование ингибирования коррозии стали Ст20 в растворе соляной кислоты (HCl) с помощью ИКФ-1 (поликритонолдиамидофосфат).

Экспериментальная часть. Поликритонолдиамидофосфат был синтезирован на основе кротонового альдегида и диамидофосфата. Состав и структура охарактеризованы элементным анализом и ИК-спектроскопическим методом. Исследовано поведение ингибированной коррозии стали (Ст 20) в растворе HCl с помощью ИКФ-1 с использованием потенциодинамического измерения поляризации, измерения потери веса и сканирующего электронного микроскопа. Между тем, влияние концентрации ингибитора, температуры и концентрации HCl на ингибирующее действие было детально исследовано. Кроме того, рассчитаны изотерма адсорбции ингибиторов на поверхности стали, стандартная свободная энергия адсорбции и кажущаяся энергия активации.

Рабочий электрод и образцы для испытаний, используемые для оценки ингибирования коррозии, были изготовлены из стали (Ст 20) Образцы, использованные для измерения потери веса и анализа с помощью сканирующего электронного микроскопа, были разрезаны на размеры 50 мм×20мм×5мм. Перед испытанием все образцы механически шлифовали наждачной бумагой, промывали дистиллированной водой, обезжиривали в ацетоне и затем сушили при комнатной температуре.

Испытуемые растворы готовили с помощью аналитической чистоты HCl (37%) и дистиллированной воды. Во время потери веса и электрохимических измерений температуру испытуемого раствора контролировали водяным термостатом DF-101S (Китай) с точностью до $\pm 0,1$ °C, и все эксперименты были проведены на воздухе в статических условиях.

Согласно результатам элементного анализа и ИК-спектроскопического анализа, структура синтезированного ингибитора можно представить по следующей схеме:



где X - O и S

С помощью сканирующего электронного микроскопа изучали морфологию поверхности образцов для испытуемых образцов на сканирующем электронном микроскопе (SEM, Tescan Vega III) в высоком вакууме.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 показано изменение потенциала разомкнутой цепи (E_{ocp}) рабочего электрода из стали Ст20 со временем погружения (t) в 1,0 М НСl в отсутствие и в присутствии 60 мг·л⁻¹ ИКФ-1 при 303 К. Во всех случаях начальный потенциал сдвигается положительным значением со временем и постепенно остается устойчивым значением, что аналогично предыдущим опубликованным кривым E_{ocp} времени для стали в 1,0 М НСl [5, 6]. Между тем, можно наблюдать, что после 30-минутного погружения измеряются только незначительные изменения в E_{ocp} . Следовательно, устойчивое состояние было достигнуто через 40 мин для электрохимических испытаний. Значение E_{ocp} при 30 мин в НСl без ингибитора составляет 0,4588 В (по сравнению с SCE). Потенциал стационарного состояния становится положительным после добавления ингибиторов к 1,0 М раствору НСl, что указывает на то, что коррозия стали Ст20 замедляется ингибитором ИКФ-3.

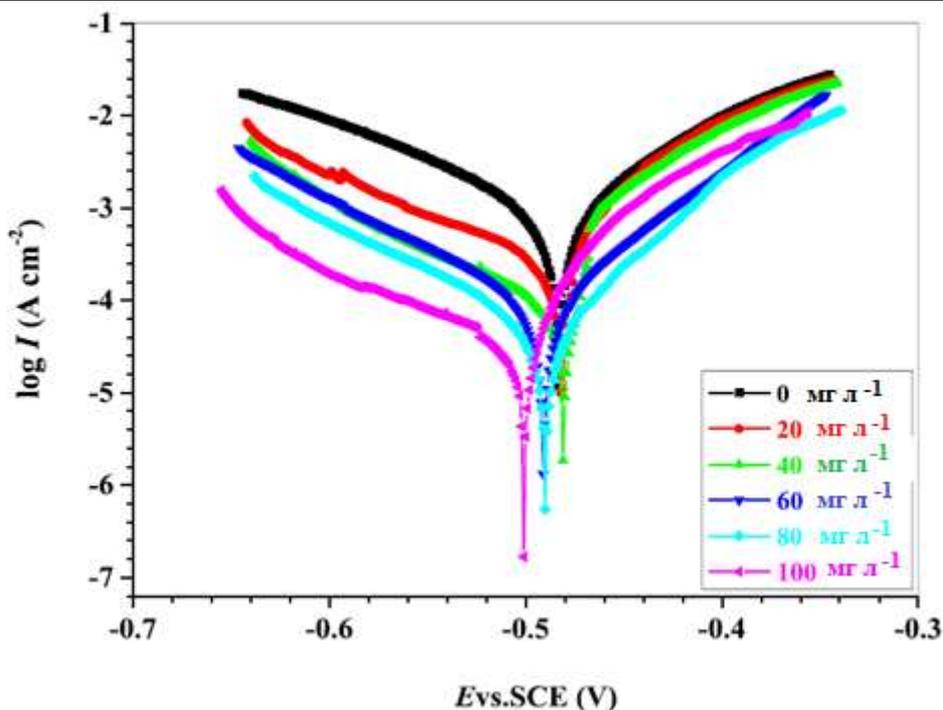


Рис. 2. Потенциодинамические кривые поляризации для стали Ст 20 в 1,0 М HCl при отсутствии и наличии различных концентраций ИКФ-3 при 303 К.

При 303 К кривые потенциодинамической поляризации стали Ст20 в 1,0 М HCl в отсутствие и в присутствии различных концентраций ИКФ-3 показаны на рис. 1. Параметры электрохимической коррозии, включая потенциал коррозии E_{corr} (mV), плотность тока коррозии i_{corr} ($\mu\text{A cm}^{-2}$) и эффективность торможения η_{T} (%) составляют приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры поляризации и соответствующая эффективность ингибирования для стали Ст20 в 1,0 М HCl в отсутствие и в присутствии различных концентраций ИКФ-3 при 303 К.

Концентрация ингибитора, мг·л ⁻¹	E_{corr} , mV	i_{corr} , $\mu\text{A cm}^{-2}$	η_{T} , %
0	-482	1413,68	-
20	-487	675,46	94,21
40	-495	276,53	95,63
60	-502	257,62	96,74
80	-513	248,07	98,35
100	-516	242,38	98,78



Как показано на рис. 2 и в таблице 1, как анодная, так и катодная кривые сдвигаются к более низким плотностям тока, что указывает на то, что ингибитор может уменьшить анодное растворение в стали и замедлить восстановление ионов водорода. Эффект ингибирования усиливается с увеличением концентрации ИКФ-3 в результате адсорбции ингибиторов на поверхности электрода из стали. Одним из возможных механизмов является адсорбция трех ингибиторов на поверхности стали через электронную пару гетероатомов (N и O) и π -электрон C=O и P=O в молекулярной структуре ИКФ-3, который блокирует поверхность стали и снижает коррозионное притяжение стали в среде HCl.

По-видимому, плотность коррозионного тока при коррозии в стали в HCl намного меньше в присутствии ингибиторов по сравнению с таковой в отсутствие ингибитора и уменьшается с увеличением концентрации ингибитора. Соответственно, эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации ингибитора из-за увеличения заблокированной доли поверхности электрода из стали в результате адсорбции. В 1,0 М HCl с 100 мг·л⁻¹ ингибитора эффективность ингибирования достигает максимум 98,78% для, что свидетельствует об эффективности ингибитора поликритонолдифитофосфата (ИКФ-3) для стали Ст20 в растворе HCl, и эффективность ингибирования. [12]

Кроме того, ингибитор может быть классифицирован как катодный или анодный, если смещение в потенциале коррозии превышает 82 мV относительно потенциала коррозии заготовки [13,14]. Потенциалы коррозии слегка смещаются в положительном или отрицательном направлении, указанном в таблице 1. Весь потенциал коррозии стали в 1,0 М HCl с ИКФ-3 при 303 К сдвигается менее чем на 82 мV, что указывает на то, что ИКФ-3 являются ингибитором смешанного типа.

Таблица 2

Скорость коррозии и соответствующая эффективность ингибирования для стали Ст20 в 1,0 М HCl в отсутствие и в присутствии различных концентраций ИКФ-3 при 303 К гравиметрическим методом.

Концентрация ингибитора, мг·л ⁻¹	v , (гр/ч)	η_r , %
0	40,51	-
20	2,654	94,33
40	1,435	95,92
60	1,016	96,23
80	0,567	98,12

100	0,478	98,65
-----	-------	-------

Из измерения потери веса соответствующая эффективность ингибирования (η_r , %) ИКФ-1 для стали в 1,0 М HCl при 303 К приведена в таблице 2. В этой таблице можно обнаружить, что повышение эффективности ингибирования с увеличением концентрации ингибитора, когда концентрация ингибитора увеличивается до 60 мг/л, эффективность ингибирования незначительно изменяется при дальнейшем увеличении концентрации ингибитора. Ингибирование коррозии объясняется адсорбцией компонентов, включающих гетероатомы (N, P и O) и π -электронов P=O и C=O групп в молекулярных ингибиторах на поверхности стали Ст20. Полученные результаты показывает, что эффективность ингибирования исследованных соединений хорошо согласуется с результатами, полученными с помощью электрохимической поляризации и гравиметрическими методами. С увеличением концентрации ИКФ-1 до 100 мг/л, эффективность ингибирования составляет 98,78 и 98,65, что также показывает, что этот ингибитор могут действовать как эффективные ингибиторы коррозии для стали Ст20 в солянокислых средах. [15,16]

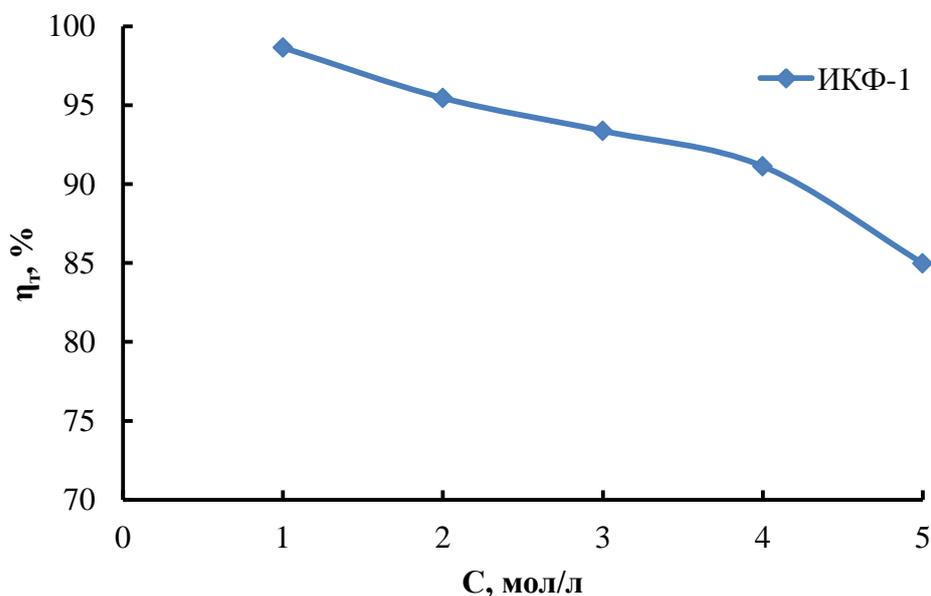


Рис. 3. Соотношения между эффективностью ингибирования и концентрацией HCl для коррозии стали Ст20 при 303 К из измерения потери веса.

На рис.3 показано влияние концентрации HCl на эффективность ингибирования (η_r (%)) при измерении потери массы. Из этой кривой очевидно, что эффективность ингибирования уменьшается с увеличением

концентрации HCl, и минимальная эффективность ингибирования ИКФ-3 в 60 мг/л для стали Ст20 в 5,0 М HCl при 303 К составляет 84,98%.

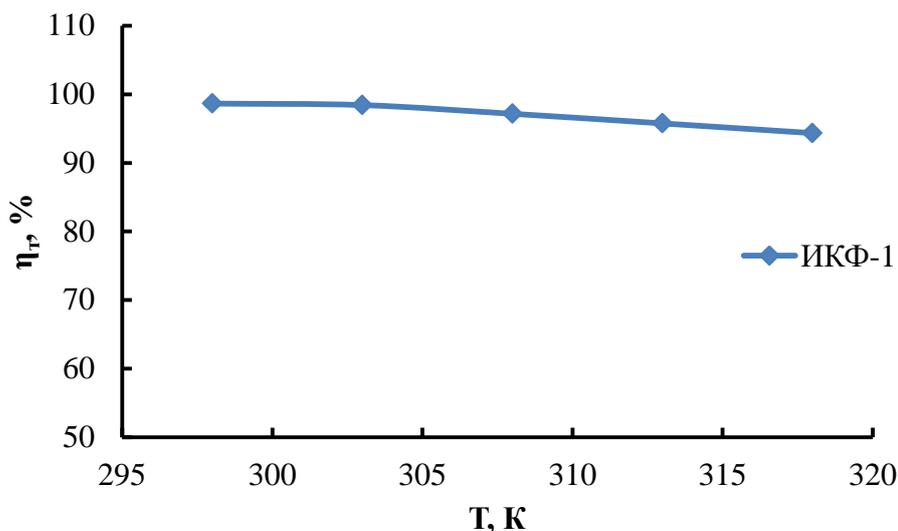


Рис. 4. Взаимосвязь между эффективностью ингибирования и температурой в 1,0 М HCl из гравиметрического метода.

Температура является важным кинетическим фактором, влияющим на скорость коррозии стали в растворе HCl и адсорбционные свойства ингибитора на поверхности стали. В этом исследовании были проведены оценочные эксперименты с температурой от 298 до 318 К с интервалом 5 К для анализа влияния температуры на характеристики ингибирования. Между тем, влияние температуры на эффективность ингибирования η_t (%) и скорость коррозии (v), полученную путем гравиметрического метода, показано на рис. 4.

Ясно, что эффективность ингибирования уменьшается с ростом температуры (рис. 4), что можно объяснить тем, что более высокая температура может вызвать десорбцию молекулы ингибитора с поверхности стали, что аналогично результатам, сообщенным Li [18]. В 1,0 М HCl с 60 мг/л ингибитора при повышении температуры до 318 К эффективность ингибирования ИКФ-1 составляет 94,34%. [19,20]

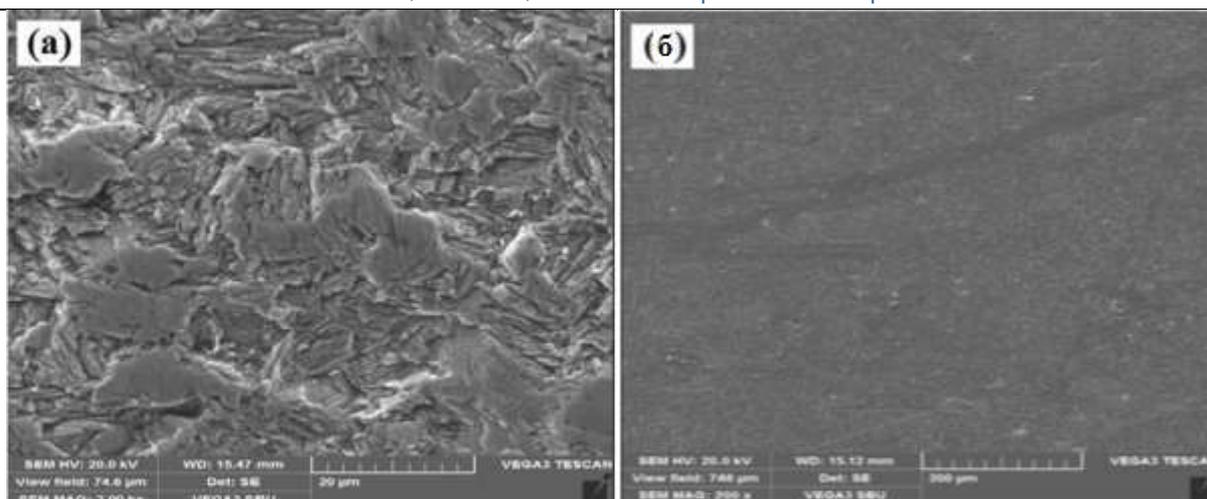


Рис. 5. СЭМ-микрофотографии стали Ст20, погруженной в 1,0 М НСl без (а) и (б) с 60 мг/л ингибитора ИКФ-3 при 303 К в течение 2 часов.

На рис. 5 (а и б) показаны изображения сканирующей электронной микроскопии (SEM) стали Ст20, погруженной в 1,0 М НСl без и с 60 мг/л ингибитора ИКФ-3 в течении 2 часа при 303 К, которые использовались для изучения изменения произошедших во время процесса коррозии в отсутствие и в присутствии ингибитора ИКФ-3 [22]. Погружение стали в незагрязненный раствор (солянокислотной раствор) наносит значительный ущерб вследствие растворения стали в солянокислотном растворе 1,0 М НСl (см. Рис. 5 (а), что приводит к довольно шероховатой поверхности. Результат показывает, что поверхность стали сильно корродирует в отсутствие ингибитора в 1,0 М НСl. В отличие от этого, как показано на рис. 5 (б), в присутствии 60 мг/л ИКФ-3 поверхность стали значительно меньше повреждается, что дополнительно подтверждает ингибирующее действие и адсорбцию ингибитора на поверхности стали Ст20. [24,25]

Заключение. Таким образом из полученных данных установлено, что эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации ингибитора коррозии, снижается с увеличением концентрации НСl и температуры. Измерения потенциодинамической поляризации показывают, что плотность тока коррозии значительно уменьшается, а потенциал коррозии незначительно изменяется при добавлении ИКФ-3 в раствор НСl, и синтезированные ингибитор оказываются ингибиторами смешанного типа.

ЛИТЕРАТУРА

ингибирование коррозии стали 20 в 1М растворах H_2SO_4 , исследованных методом атомно-абсорбционной спектрометрии //Universum: технические науки. – 2019. – №. 2 (59). – С. 56-64.



2. Нуриллоев З. И. и др. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРИАЗИНА НА ОСНОВЕ КРОТОНОВОГО АЛЬДЕГИДА //ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ. – 2018. – С. 225.1-225.5.

3. Zafar, Nurilloev, Beknazarov Khasan, and Nomozov Abror. "Production of corrosion inhibitors based on crotonaldehyde and their inhibitory properties." *International Journal of Engineering Trends and Technology* 70.8 (2022).

4. Нарзуллаев А.Х. и др. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРИАЗИНА НА ОСНОВЕ АЦЕТАЛЬДЕГИДА //ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ. – 2018. – С. 221.1-221.4.

5. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Изучение кинетических закономерностей выделения водорода при коррозии стали 20 в 1м растворах H₂SO₄ //Universum: технические науки. – 2019. – №. 1 (58). – С. 51-55.

6. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Оценка эффективности ингибиторов кислотной коррозии конструкционной углеродистой стали марки 20 гравиметрическим методом //Развитие науки и технологий” научно-технический журнал. – 2019. – Т. 2. – С. 42-47.

7. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Оценка ингибитурующих свойств новых ингибиторов методом атомно-адсорбционной спектроскопии //Турли физик-кимёвий усуллар ёрдамида нефть ва газни аралашмалардан тозалашнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани. – 2019. – С. 49-52.

8. Нуриллоев З. И. Исследование механизма страхования поверхности стали Ст20 синтезированными ингибиторами коррозии (ИКФ-1 и ИКФ-2) //Развитие науки и технологий” научно-технический журнал. – 2022. – Т. 2. – С. 45-50.

9. Бекназаров Х. С. и др. Изучение ингибирующих свойств нового ингибитора коррозии ИК-020//“Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса” Международная научно-техническая конференция // Amsterdam, Netherlands.-2018. – 2018.

10. Джалилов А. Т. и др. Исследование ингибирование коррозии стали СТ20 новым ингибитором ИКФ-1//Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 6 (75) //URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9616>.

11. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Исследование ингибирования разработанных ингибиторов коррозии с поверхностью стали



//Замонавий ишлаб чиқаришнинг муҳандислик ва технологик муаммоларини инновацион ечимлари”(халқаро илмий анжумани) II-том Бухоро-2019 йил. – С. 14-16.

12. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Изучение механизма ингибирования разработанных ингибиторов коррозии с поверхностью стали //Фан ва технологиялар тарақиёти” илмий-теникавий журнал. Бухоро. – 2019. – Т. 5. – С. 2019.

13. Нарзуллаев А. Х. и др. Исследование ингибирующих свойств новых ингибиторов коррозии ИКТ-1 и ИКТ-2//“Современные проблемы и перспективы химии и химико-металлургического производства” Республиканская научно-техническая конференция. – 2018.

14. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Синтез и исследование ингибирующих свойств новых олигомерных ингибиторов коррозии. – 2017.

15. Нуриллоев З. И. и др. Азот ва фосфор сақлаган олигомерлар асосидаги ингибиторларнинг металл коррозиясини таъсирини ўрганиш //НамДУ илмий ахборотномаси. Наманган. – 2022. – Т. 3. – №. 2022. – С. 50-56.

16. Нуриллоев З. И. и др. Пулат коррозиясининг ингибирланишини атом-абсорбцион усул билан тадқиқ қилиш //НамДУ илмий ахборотномаси. Наманган. – 2021. – Т. 7. – №. 2021. – С. 91-96.

17. Нуриллоев З. И. и др. Кротон альдегиди билан мочеви́на (ИКФ-1) ва тиомочеви́на (ИКФ-2) асосида самарали олигомер коррозия ингибиторларининг олиниши ва хоссалари.” //Фан ва технологиялар тарақиёти” илмий-теникавий журнал. Бухоро. – 2020. – №. 7. – С. 81-87.

18. Ergashov N. U. et al. STUDY OF THE INHIBITORY PROPERTIES OF TRIAZINE BASED ON ACETALDEHYDE //Академические исследования в современной науке. – 2022. – Т. 1. – №. 20. – С. 18-24.

19. Razhabova L. et al. Protective properties of oligomeric corrosion inhibitors IK-1 and IK-2 //Scientific Collection «InterConf». – 2022. – №. 138. – С. 357-362.

20. Zaripov A., Ergashov N., Khaidarov A. Study of inhibition of the developed corrosion inhibitors with a steel surface //Scientific Collection «InterConf». – 2022. – №. 138. – С. 371-375.

21. Ismatilloevich N. Z., Ihtiyorovna R. L., Alizhonovich Z. A. STUDY OF KINETIC REGULARITIES OF HYDROGEN RELEASE DURING CORROSION OF STEEL 20 IN 1M H₂SO₄ SOLUTIONS //Archive of Conferences. – 2022. – С. 1-4.

22. Nurillayev Z., Nutfilloyeva O. J. KISLOTA VA ISHQORIY MUHITLARDA METALLAR KORROZIYASINI SUSAYTIRISH //SCIENTIFIC ASPECTS AND



TRENDS IN THE FIELD OF SCIENTIFIC RESEARCH. – 2023. – Т. 1. – №. 8. – С. 291-295.

23. Нуриллоев З.И. и др. Исследование ингибирования коррозии стали ст20 новым ингибитором икф-1 //Universum: технические науки. – 2020. – №. 6-3 (75). – С. 33-37.

24. Нуриллоев З. И., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Оценка эффективности ингибиторов кислотной коррозии конструкционной углеродистой стали марки 20 гравиметрическим методом //Развитие науки и технологий” научно-технический журнал. – 2019. – Т. 2. – С. 42-47.

25. Нуриллоев З. И. и др. Кротон альдегиди билан мочевина (ИКФ-1) ва тиомочевина (ИКФ-2) асосида самарали олигомер коррозия ингибиторларининг олиниши ва хоссалари.” //Фан ва технологиялар таракиёти” илмий-теникавий журнал. Бухоро. – 2020. – №. 7. – С. 81-87.