

Министерство образования Пензенской области

Государственное автономное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Институт регионального развития Пензенской области»

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа № 66 г. Пензы
имени Виктора Александровича Стукалова

Областная научно-практическая конференция школьников
«Старт в науку»

**Изучение эффективности ингибиторов коррозии металлов
в кислой среде**

Выполнила: Кузнецова Софья Антоновна,
МБОУ СОШ № 66 г. Пензы
имени Виктора Александровича Стукалова 9Д3 класс
Руководитель: Никишева Елена Викторовна,
учитель химии МБОУ СОШ № 66 г. Пензы
имени Виктора Александровича Стукалова

Пенза, 2020

Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Обзор источников информации по теме исследования	5
1.1 Коррозия металлов и способы защиты от неё	5
1.2 Ингибиторы	6
1.3 Ингибиторы кислых сред (кислотной коррозии)	7
Глава 2 Экспериментальная часть	9
2.1 Изучение эффективности ингибиторов коррозии металлов в кислой среде.....	9
2.2 Очистка металлов от нерастворимых продуктов коррозии (ржавчины)	10
2.3 Выводы по экспериментальной части.....	11
Заключение	12
Список используемых источников	13
Приложение 1	14
Приложение 2	15

Введение

«Коррозия – рыжая крыса, грызёт металлический лом» – автор этих строк Вадим Шефнер в поэтической форме очень точно передаёт сущность химического процесса. Многим из нас приходилось наблюдать образование рыжего налёта на поверхности металлических изделий – ржавление. Это частный случай коррозии, при котором происходит разрушение металлов и сплавов.

Актуальность работы.

Коррозия наносит огромный экономический ущерб. По данным Института физической химии коррозия съедает до 10% производимого металла. В денежном выражении потери составляют сотни миллионов рублей [8]. Кроме этого коррозия вызывает серьёзные экологические последствия. Утечка газа, нефти и других химических продуктов из разрушенных коррозией трубопроводов приводит к загрязнению окружающей среды, что отрицательно влияет на здоровье и жизнь людей, а также приводит к нарушению процессов жизнедеятельности живых организмов, обитающих в различных природных средах.

Процесс коррозии металлов происходит в соответствии с законами природы, и поэтому его нельзя полностью устранить, а можно лишь замедлить. Одним из способов снижения скорости коррозионного процесса является введение в среду, где находятся металлические изделия, специальных веществ – ингибиторов, которые в десятки и сотни раз уменьшают агрессивность среды.

Цель работы: изучить эффективность ингибиторов коррозии металлов в кислой среде.

Задачи:

1. Используя литературные источники и Интернет-ресурсы, изучить процесс коррозии металлов и способы защиты от неё.
2. Собрать и изучить информацию об ингибиторах, их видах и действии на скорость коррозии, в том числе на коррозию металлов в кислой среде.
3. Экспериментально изучить действие ингибиторов коррозии металлов в кислой среде.
4. Проанализировать полученные результаты, определить наиболее эффективный ингибитор кислотной коррозии и провести эксперимент с использованием данного ингибитора для удаления нерастворимых продуктов коррозии (ржавчины) с поверхности металлического изделия.

Гипотеза: проведение исследований процесса коррозии с использованием различных ингибиторов позволят определить степень их влияния на процесс и определить наиболее эффективный.

Объект исследования: эффективность ингибиторов коррозии железа в кислой среде.

Предмет исследования: защита металлов от кислотной коррозии с помощью ингибиторов.

Методы работы: работа с научной литературой и интернет-источниками, химический эксперимент, наблюдение, сравнение, измерение, качественный анализ.

Новизна исследования заключается в оценке степени воздействия ингибиторов кислотной коррозии металлов и практическом использовании полученных результатов в повседневной жизни.

Практическая значимость: результаты данной работы могут быть использованы на уроках и внеклассных занятиях по химии и экологии для организации проектной деятельности, научно-исследовательских работ и применены в бытовых условиях для защиты металлов от коррозии.

В процессе работы нами были использованы 5 литературных источников и 5 Интернет-источников, из которых большей частью мы опирались на учебник Химия 11 класс (авторы: Габриелян О.С., Лысова Г.Г.), учебное пособие Демонстрационный эксперимент по химии (авторы: Хомченко Г.П., Платонов Ф.П., Чертков И.Н.) и интернет – источники [www/chem21.info](http://www.chem21.info); <https://www.okorrozii.com/ingibitor-korrozii.html>.

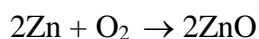
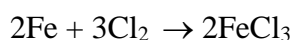
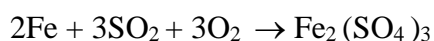
Сбор информации по теме исследования начат в октябре 2019 года. Экспериментальная часть работы проводилась в лаборатории кабинета химии МБОУ СОШ № 66 г. Пензы имени Виктора Александровича Стукалова (корпус 2) с 28 по 31 октября 2019 года.

Глава 1 Обзор источников информации по теме исследования

1.1 Коррозия металлов и способы защиты от неё

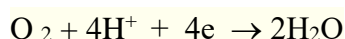
При взаимодействии металлов с веществами окружающей среды на их поверхности образуются соединения, обладающие совершенно иными свойствами, чем сами металлы. В обычной жизни мы часто употребляем слова «ржавчина», «ржавление», наблюдая коричнево-рыжий налёт на изделиях из сплавов железа. Ржавление – частный случай коррозии. Коррозия – это процесс самопроизвольного разрушения металлов и сплавов под воздействием окружающей среды (от латинского *corrosion* – разъедание) [2, с.208].

По химической природе коррозия – это окислительно-восстановительный процесс. Наиболее часто встречающиеся виды коррозии: химическая и электрохимическая. Химическая (газовая) коррозия наблюдается при взаимодействии металлов с сухими газами или жидкостями – неэлектролитами (бензином, керосином) или обработке металлов при высоких температурах. На поверхности металлов образуются плёнки оксидов, хлоридов, сульфатов [2, с.210].

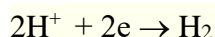


К электрохимической коррозии относятся все случаи коррозии в водной среде. Данному виду коррозии подвергаются подводные части судов, проложенные в земле трубопроводы, паровые котлы. Коррозия металла, находящегося во влажной атмосфере, также представляет собой электрохимическую коррозию.

В воде обычно содержится растворённый кислород, способный к восстановлению:



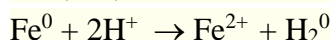
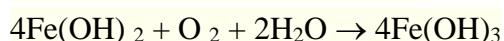
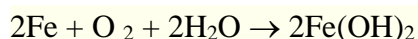
Кроме этого в воде присутствуют ионы водорода, также способные к восстановлению:



Растворённый кислород и ионы водорода – важнейшие окислители, вызывающие электрохимическую коррозию металлов [3, с.548 – 549].

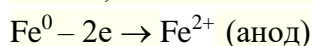
Большинство металлов окисляется кислородом воздуха, образуя на поверхности оксидные плёнки. Если эта плёнка прочная, плотная, хорошо связана с металлом, то она будет защищать металл от разрушения. Такие защитные плёнки появляются, например, у цинка, алюминия, хрома, никеля, олова, свинца.

У железа и его сплавов плёнка рыхлая, пористая, легко отделяется от поверхности и поэтому не способна защитить металл от дальнейшего разрушения. Поэтому чаще всего коррозии подвергаются изделия из железа, особенно сильно во влажном воздухе, в воде, а также в растворах кислот, образующихся в результате загрязнения окружающей среды оксидами углерода и серы. В результате электрохимической коррозии окисление металла может приводить как к образованию нерастворимых продуктов, например, ржавчины, так и к переходу металла в раствор в виде ионов [2, с.210-211].

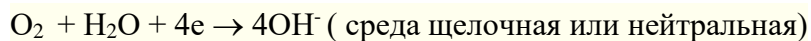
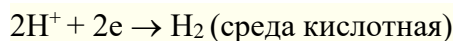


Химически чистое (метеоритное) железо практически не подвергается коррозии. Как правило, металлы и сплавы неоднородны, содержат включения различных примесей. При контакте их с электролитами одни участки поверхности играют роль анода (отдают электроны), другие – роль катода (принимают электроны).

Например, коррозия железа в присутствии примеси олова протекает следующим образом: при соприкосновении с электролитом процесс окисления (растворения) протекает на железе, как более активном металле:



Поток электронов перемещается к олову – металлу с меньшей активностью, который выполняет роль катода [2, с.210 – 211].



Скорость коррозии тем больше, чем сильнее отличаются металлы по своей химической активности. Усилению коррозии способствуют загрязнение атмосферы углекислым и сернистым газами, образующими кислоты, хлорид-ионы, наличие на поверхности металлических изделий шероховатостей, трещин, а также температурные колебания, так как они усиливают конденсацию влаги из воздуха. До 65% интенсивность коррозии невелика. Эту влажность называют критической. При более высокой влажности скорость коррозии металлов и сплавов возрастает [6].

Электролитами могут быть морская, речная и дождевая вода, конденсированная влага, растворы кислот, щелочей, также технических солей, используемых в зимнее время в качестве антигололёдных покрытий.

Таким образом, электрохимическая коррозия – окислительно-восстановительная реакция, которая протекает в средах, проводящих ток (в отличие от химической коррозии). На более активном металле идёт окисление его атомов с образованием катионов (растворение металла). На менее активном металле происходит восстановление ионов водорода или молекул кислорода с образованием соответственно водорода или гидроксид-ионов OH^- . Скорость коррозии зависит от влажности воздуха, состояния поверхности металлических изделий, среды электролита, активности соприкасаемых металлов, а также от загрязнения окружающей среды химическими соединениями.

Проблемы коррозии постоянно обостряются из-за непрерывного роста производства металлов и ужесточения условий их эксплуатации – высоких температур и давлений, мощных потоков газов и жидкостей, агрессивности среды. Поэтому вопросы защиты металлических изделий от коррозии становятся всё более актуальными. Полностью предотвратить коррозию невозможно, единственным путём борьбы с ней является поиск способов её замедления.

При проектировании и изготовлении металлических изделий и конструкций предусматриваются способы защиты от коррозии – шлифование поверхностей, изготовление легированных сплавов, содержащих специальные добавки, которые образуют на поверхности металлов устойчивый оксидный слой, используют электрохимические методы защиты, специальную обработку электролита или другой среды, где находится металлическая конструкция [2, с.212-214]. К последнему способу относится деаэрация (удаление растворённого в воде кислорода) или введение веществ-ингибиторов, замедляющих скорость коррозии.

1.2 Ингибиторы

Ингибиторы коррозии – вещества, находясь в коррозионной среде в достаточной концентрации, сильно замедляют либо вообще прекращают коррозионное разрушение металла. Ингибитором коррозии может быть как одно соединение, так и смесь нескольких [9].

По типу среды различают ингибиторы нейтральных коррозионных сред, атмосферной коррозии, ингибиторы кислых сред, нефтяных сред. В разных коррозионных средах один и тот же ингибитор может вести себя совершенно по-разному.

Ингибиторы классифицируют по механизму воздействия на пассивирующие и адсорбционные, по характеру защитного действия на анодные, катодные, смешанные, по химической природе на летучие, органические и неорганические.

Адсорбционные ингибиторы коррозии адсорбируются на поверхности защищаемого изделия, образуя пленку, и тормозят электрохимические реакции. Иногда достаточно образование тонкой мономолекулярной пленки. Адсорбционными ингибиторами чаще всего являются ПАВ (поверхностно-активные вещества), а также органические соединения. При воздействии на изделие они дополнительно усиливают защитные свойства оксидной пленки. Поэтому можно сделать вывод, что наличие в коррозионной среде кислорода способствует увеличению защитного эффекта адсорбционных ингибиторов коррозии. Если же оксидная пленка неустойчива, затрудняется адсорбция ингибитора на поверхности металла, кислород дополнительного влияния не оказывает.

Пассивирующие ингибиторы коррозии играют важную роль при образовании на поверхности металла защитной пленки, которая пассивирует ее. Пассиваторами чаще всего являются неорганические соединения, обладающие окислительными свойствами (нитриты, молибдаты, хроматы). При обработке поверхности этими веществами коррозионный потенциал сдвигается к положительной стороне. Пассивирующие соединения считаются более эффективными, чем большая часть непассивирующих.

Неорганические ингибиторы коррозии используются чаще всего. К ним относятся некоторые пассиваторы, катодные, анодные, пленкообразующие ингибиторы и т.д. Ингибирующий эффект таких соединений можно объяснить их составом. Некоторые анионы (PO_4^{3-} , NO_2^- , CrO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), а также катионы (Ni^{2+} , Ca^{2+} , As^{3+} , Sb^{3+} , Zn^{2+} , Bi^{3+}) способствуют уменьшению скорости коррозионного процесса. К неорганическим ингибиторам коррозии относятся фосфаты, бихроматы, хроматы, нитриты, полифосфаты, силикаты и т.д.

Органические ингибиторы коррозии считаются веществами смешанного действия. Они замедляют катодную и анодную реакции. Очень часто их используют при кислотном травлении. При этом различные загрязнения, ржавчина, окалина удаляются с поверхности, а основной металл не растворяется. Защитный эффект органических ингибиторов зависит от их концентрации, температуры, природы соединений. Чаще всего в состав органических ингибиторов входит кислород, азот, сера. Они адсорбируются исключительно на поверхности металла. К органическим ингибиторам относятся некоторые летучие амины, органические кислоты и их соли, меркаптаны (тиолы) [9].

1.3 Ингибиторы кислых сред (кислотной коррозии)

Известно, что дамасские мастера для снятия окислы и ржавчины использовали растворы серной кислоты с добавлением пивных дрожжей, муки, крахмала. Эти примеси и были одними из первых ингибиторов. Они не позволяли кислоте действовать на оружейный металл, в результате растворялись лишь окалина и ржавчина. Уральские оружейники применяли для этих целей «травильные супы» – растворы серной кислоты с добавлением мучных отрубей. В настоящее время известно более 5 тысяч ингибиторов [2, с.214].

Ингибиторами кислотной коррозии называются вещества, которые при малых их концентрациях в кислотах либо кислых средах значительно уменьшают скорость

коррозионного разрушения. Концентрация должна составлять около 5 г/л. В качестве ингибиторов кислотных сред чаще всего используют органические соединения (иногда неорганические). Самыми эффективными ингибиторами кислотной коррозии считаются соединения, в состав которых входят кислород, сера, азот [9].

Используются такие ингибиторы чаще всего при травлении, например, для снятия окалины или ржавчины с поверхности металла. Если при травлении не применять никаких дополнительных добавок, уменьшающих коррозионное разрушение металла, то его потери могут составлять до 5 %, что достаточно много и недопустимо для многих изделий. Использование ингибиторов позволяет уменьшить потери металла при травлении, предохранить металл от водородной хрупкости. Защита металлов ингибиторами обусловлена их адсорбцией на поверхности металла, вследствие чего повышается перенапряжение водорода и затрудняется его выделение [10].

Одним из первых ингибиторов кислотной коррозии был формалин (водный 40%-ый раствор формальдегида). В настоящее время формалин используется как реагент для получения более сложных органических ингибиторов – марки а-МСФ (продукт конденсации метилстирола с формалином), БА-6 (продукт конденсации бензиламина и формальдегида) [10].

Для защиты от кислотной коррозии цинка, железа, алюминия, стали используют ингибитор марки КИ-1 – водный раствор 25% катапина и 25% уротропина (эффективен в растворах фосфорной и серной кислот с концентрацией до 50%, а также плавиковой и соляной кислот с концентрацией до 30%). В качестве ингибиторов коррозии для разбавленной соляной кислоты можно применять ингибитор марки ПБ-5 (продукт конденсации уротропина и анилина), который образует на поверхности соляной кислоты защитную плёнку, вследствие чего скорость коррозии уменьшается в 150-200 раз) [10].

Для соляной и серной кислот также могут применяться катапин К, уротропин H_2eN_4 и продукты его конденсации (ПКУ), а также их смеси [10].

Глава 2 Экспериментальная часть

2.1 Изучение эффективности ингибиторов коррозии металлов в кислой среде

При проведении эксперимента использованы методы наблюдения, сравнения, вычисления [4, с.51; 5, с. 131] и качественный анализ на ионы металлов [1, с. 126].

Предмет исследования: защита металлов от кислотной коррозии с помощью ингибиторов.

Объект исследования: эффективность ингибиторов коррозии железа в кислой среде.

Оборудование: сосуды Ландольта, силиконовые трубки с резиновыми пробками с двух сторон, манометрические трубки со стеклянными воронками вверху и внизу, платформа с оцифрованной шкалой, пробирки, пипетки

Реактивы: растворы HCl, $K_3[Fe(CN)_6]$, формалина, анилина; уротропин в таблетках, крахмал, KI(тв.).

Методика проведения эксперимента

В одно колено сосудов Ландольта опускаем по железному гвоздю. В другое колено сосудов наливаем:

в первый сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты;

во второй сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты с добавлением иодида калия в твёрдом виде;

в третий сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты с добавлением 1,5 мл 10%-го раствора формалина;

в четвёртый сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты с добавлением 1,5 мл анилина;

в пятый сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты с добавлением 1/2 измельчённой таблетки уротропина;

в шестой сосуд – 5%-й раствор соляной кислоты с добавлением сухого крахмала.

С помощью силиконовых трубок с резиновыми пробками на двух концах соединяем сосуды Ландольта с манометрическими трубками, укрепленными вертикально на платформе с оцифрованной шкалой. Через верхние воронки манометрических трубок наливаем окрашенную жидкость (вода с чернилами) до отметки «0» на шкале. Используя поворотное устройство одновременно смешиваем содержимое в двух сосудах Ландольта (Приложение 1 фото 1). Эксперименты с использованием формалина и анилина проводим в вытяжном шкафу.

Продолжительность каждого эксперимента 20 минут. Наблюдаем за движением столбиков окрашенной жидкости в манометрических трубках и отмечаем объём выделяющегося водорода на 5, 10, 15 и 20 минутах.

Эффективность действия ингибиторов определяется по эффекту торможения скорости коррозии, рассчитанного по формуле [5, с. 131]:

$$A = V_0 / V$$

A – эффект торможения;

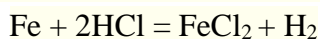
V_0 – объём водорода в неингибированной среде за 20 минут, мл

V – объём водорода в ингибированной среде за 20 минут, мл

В конце каждого эксперимента полученные растворы переливаем в пробирки и с помощью качественной реакции с раствором красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$ определяем приблизительную концентрацию ионов железа Fe^{2+} .

Полученный результат:

В результате проведённых исследований при взаимодействии железа с раствором соляной кислоты наблюдалось выделение водорода:



В течение 20 минут самое интенсивное выделение газа в сосуде 1 без ингибитора (9,1 мл) и в сосуде 6 с добавлением крахмала (6,1 мл). В сосудах 2, 3, 4, 5 с использованием иодида калия, формалина, анилина и уротропина реакция замедлена, особенно в сосуде 3 с добавлением раствора формалина (1,1 мл водорода) и в сосуде 4 с добавлением уротропина (1,2 мл водорода).

Эффект торможения скорости коррозии А составляет:

Сосуд 2 (с иодидом калия в агрессивной среде): А = 4,33

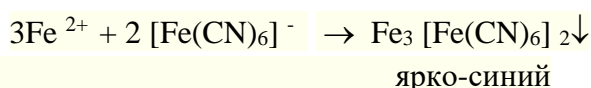
Сосуд 3 (с раствором формалина в агрессивной среде): А = 8,27

Сосуд 4 (с раствором анилина в агрессивной среде): А = 4,79

Сосуд 5 (с уротропином в агрессивной среде): А = 7,58

Сосуд 6 (с крахмалом в агрессивной среде): А = 1,47

Качественная реакция с раствором красной кровяной соли позволила установить содержание ионов Fe^{2+} в растворах [1, с. 126]:



Сравнив полученные окраски с эталоном, мы определили приблизительное содержание ионов Fe^{2+} в растворах [7]:

проба 1 (без ингибитора): $c(\text{Fe}^{2+})$ более 2,5 мг/л

проба 2 (с иодидом калия): $c(\text{Fe}^{2+}) = 1,5$ мг/л

проба 3 (с формалином): $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,05$ мг/л

проба 4 (с анилином): $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,5$ мг/л

проба 5 (с уротропином): $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,1$ мг/л

проба 6 (с крахмалом): $c(\text{Fe}^{2+})$ более 2,5 мг/л

Результаты эксперимента представлены в таблице 1 (Приложение 2).

2.2 Очистка металлов от нерастворимых продуктов коррозии (ржавчины)

Согласно источникам по теме исследования ингибиторы кислотной коррозии особенно большое применение находят в процессах травления металлов для удаления с их поверхности окислы или ржавчины [10].

Мы решили провести эксперимент по очистке металлического изделия от ржавчины с использованием наиболее эффективного ингибитора (по результатам исследования).

Оборудование: стеклянный стакан, пинцет, губка, резиновые перчатки, тканевая салфетка.

Реактивы: растворы HCl , уротропин в таблетках, вода

Методика проведения эксперимента

В стеклянный стакан налили 20 мл 5%-го раствора HCl , добавили 1 измельчённую таблетку уротропина и опустили металлический ключ со следами ржавчины.

Время проведения эксперимента 1 сутки. По окончании эксперимента с помощью пинцета достали ключ, промыли его водой и высушили тканевой салфеткой.

Полученный результат:

Проведённый эксперимент показал растворение ржавчины на поверхности изделия. После промывания в воде и высушивания железный ключ приобрел тёмно-серый цвет без признаков ржавчины и не изъеденный кислотой.

2.3 Выводы по экспериментальной части

Проведённые исследования позволили сделать следующие выводы:

- Использование ингибиторов позволяет значительно снизить скорость коррозии железа в кислой среде.
- Наиболее эффективными ингибиторами коррозии железа в кислой среде являются формалин и уротропин.
- Использование крахмала в качестве ингибитора кислотной коррозии железа даёт низкий эффект.
- Использование иодида калия в качестве ингибитора коррозии железа в кислой среде менее эффективно по сравнению с органическими веществами.
- Уротропин, как наиболее безопасный ингибитор, можно использовать в бытовых условиях для удаления нерастворимых продуктов коррозии с поверхности металлических изделий, а также для защиты металлов (железа) от коррозии в кислой среде.

Заключение

В результате проделанной работы цель была достигнута, поставленные задачи выполнены и сделаны следующие **выводы**:

1. Коррозия – это процесс разрушения металлов и сплавов под влиянием внешней среды. К одному из наиболее часто встречающихся видов коррозии относится электрохимическая коррозия, протекающая в среде электролита, в том числе в растворах кислот. Кислотная коррозия обусловлена загрязнением атмосферы углекислым и сернистым газами, образующими кислоты. В результате происходит переход металлов в раствор в виде ионов, что приводит к разрушению металлических конструкций.

Уже на стадии проектирования металлических изделий и конструкций предусматриваются меры защиты от коррозии, одной из которых является специальная обработка электролита, соприкасающегося с металлами и сплавами.

2. Ингибиторы коррозии – это вещества, которые, находясь в коррозионной среде в достаточной концентрации, сильно замедляют либо вообще прекращают коррозионное разрушение металла. Они различаются по типу среды, механизму воздействия, характеру защитного действия и по химической природе.

В качестве ингибиторов кислотной коррозии чаще всего используются органические вещества, содержащие кислород, серу и азот. В основном их применяют при травлении металлов для снятия с поверхности изделий окалина или ржавчины. Защита металлов обусловлена адсорбцией ингибиторов на поверхности изделия с образованием защитной плёнки, что позволяет уменьшить потери металла при взаимодействии с агрессивной (кислой) средой.

3. Экспериментально установлено, что использование некоторых органических веществ (формалина, анилина и уротропина) в качестве ингибиторов коррозии железа в кислой среде позволяет снизить скорость процесса. Применение крахмала в качестве ингибитора кислотной коррозии железа малоэффективно, так как показывает низкий эффект торможения скорости коррозии. Использование иодида калия в качестве ингибитора коррозии железа в кислой среде менее эффективно по сравнению с органическими веществами.

4. Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективными ингибиторами коррозии железа в кислой среде являются формалин и уротропин.

Уротропин, как наиболее безопасный ингибитор, можно использовать в бытовых условиях для удаления нерастворимых продуктов коррозии с поверхности металлических изделий, а также для защиты металлов (железа) от коррозии в кислой среде.

Список используемых источников

1. Астафуров В.И. Основы химического анализа. Учебное пособие по факультативному курсу для учащихся IX – X классов. – М.: Просвещение, 1982. – 159 с.
2. Gabrielyan O.S., Lysova G.G. Химия 11 класс. – М.: Дрофа, 2006. – 362 с.
3. Глинка Н.Л. Общая химия. – Л.: Химия, 1974. – 712 с.
4. Назарова Т.С., Грабецкий А.А., Лаврова В.Н. Химический эксперимент в школе. – М.: Просвещение, 1987. – 240 с.
5. Хомченко Г.П., Платонов Ф.П., Чертков И.Н. Демонстрационный эксперимент по химии. – М.: Просвещение, 1978. – 205 с.

Электронные ресурсы

6. <http://artmalyar.ru/antikor/korroziya.html> (дата обращения 16.10.2019 г.)
7. <http://www.medroad.ru/pitanie/issledovanie-kachestva-vodi.html> (дата обращения 27.10.2019 г.)
8. <http://www.biohim.ru/library/689.php> (дата обращения 16.10.2019 г.)
9. <https://www.okorrozii.com/ingibitor-korrozii.html> (дата обращения 16.10.2019 г.)
10. <https://www.chem21.info/info/997791/> (дата обращения 16.10.2019 г.)

Приложение 1

Фото1. Прибор для наблюдения за скоростью химических реакций в зависимости от условий (в неингибированной и ингибированных средах)



Приложение 2

Эффективность ингибиторов коррозии железа в кислой среде

Таблица 1 Результаты исследований

	Объём выделяющегося водорода, мл				Концентрация ионов Fe ²⁺ , мг/л	Эффект торможения А
	5 минут	10 минут	15 минут	20 минут		
Сосуд 1 (раствор HCl без ингибитора)	4.2	6.1	7.5	9.1	более 2,5	–
Сосуд 2 (раствор HCl с KI)	1,1	1,6	1,9	2,1	1,5	4,33
Сосуд 3 (раствор HCl с формалином)	0,5	0,7	0,8	1,1	0,05	8,27
Сосуд 4 (раствор HCl с анилином)	0,9	1,2	1,6	1,9	0,5	4,79
Сосуд 5 (раствор HCl с уротропином)	0,5	0,7	0,9	1,2	0,1	7,58
Сосуд 6 (раствор HCl с крахмалом)	3,2	4,4	5,6	6,2	более 2,5	1,47