

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Завкафедрой «РПиР»
_____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« 26 » января _____ 20 17 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент: Загумённов Дмитрий Андреевич

1. Тема: Исследование коррозионной стойкости стали марки 09Г2С в различных средах
2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 14.06.2017г.
3. Исходные данные к бакалаврской работе:
 - 3.1 Регламент цеха №01А ОАО «ТольяттиАзот».
4. Содержание бакалаврской работы:
 - 4.1 Теоретический анализ проблемы.
 - 4.2 Патентный поиск.
 - 4.3 Исследование и анализ процессов коррозии.
 - 4.4 Предложения по борьбе с коррозией.
5. Консультанты по разделу: С.В. Афанасьев.
6. Дата выдачи задания «26» 01 2017г.

Руководитель бакалаврской
работы

(подпись)

Ю.Н. Шевченко

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

Д.А. Загумённов

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «РПиР»

_____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« 26 » января 20 17 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

бакалаврской работы

Студента: Загумённова Дмитрия Андреевича

по теме: Исследование коррозионной стойкости стали марки 09Г2С в
различных средах

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	25.02.2017	28.02.2017	Выполнено	
Теоретический анализ проблемы	15.03.2017	18.03.2017	Выполнено	
Патентный поиск	24.04.2017	30.04.2017	Выполнено	
Исследование и анализ процессов коррозии	11.05.2017	15.05.2017	Выполнено	
Предложения по борьбе с коррозией	15.05.2017	20.05.2017	Выполнено	
Заключение	20.05.2017	25.05.2017	Выполнено	

Руководитель бакалаврской работы

_____ (подпись)

Ю.Н. Шевченко

_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

Д.А. Загумённов

_____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Загумёнов Д.А.

Тема работы: Исследование коррозионной стойкости стали марки 09Г2С в различных средах.

Научный руководитель: Шевченко Ю.Н.

Цель бакалаврской работы – определение оптимальных противокоррозионных мер для защиты изделий из стали 09Г2С.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель и задачи исследования.

В первой части происходит теоретический анализ проблемы. Описывается общая характеристика коррозионных процессов и их физико-химические основы.

Во второй части проводится патентный поиск по ингибиторам коррозии сталей.

В третьей части проводится исследование и анализ процессов коррозии.

В четвёртой части предлагаются методы по борьбе с коррозией.

Заключение содержит основные выводы о проделанной работе.

Работа в своём составе имеет: введение, 4 раздела, заключение, список литературы из 60 источников. Общий объем работы составил 55 страниц машинописного текста, в том числе таблиц – 11, рисунков – 12.

ABSTRACT

The title of the work is «Study of the Corrosion Resistance of Steel Model 09G2C in Various Environments».

In the first chapter the theoretical analysis of the problem is performed. The general characteristics of corrosion processes and their physicochemical basis are described.

In the second part, a patent search for corrosion inhibitors of steels is conducted, the nature of their interaction is observed.

In the third part, the corrosion processes research and analysis are performed. An experiment is conducted to corrosive steel in various environments.

In the fourth chapter, methods for corrosion prevention are suggested.

As a result of the executed research work the experimentation showed that the use of urotropine as a corrosion inhibitor gives a positive result.

The work in its composition has: introduction, 4 sections, conclusion, list of literature (60 sources), 11 tables and 12 figures.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ.....	9
1.1. Физико-химические основы процесса коррозии металлов.....	9
1.1.2 Металлы и электролиты	14
1.1.3 Показатели коррозии. Способы выражения скорости коррозии	18
1.2 Основные методы защиты от коррозии	21
1.2.1 Ингибиторы коррозии.....	21
1.2.2 Защитные и изоляционные покрытия	25
1.3 Сталь 09Г2С. Коррозия стали	27
2. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК.....	29
2.1 Патент №2231574 – Ингибитор формальдегидной коррозии углеродистых сталей.....	30
2.2 Патент №2237747 Ингибитор нитратной солевой коррозии углеродистых сталей.....	33
3. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ.....	39
3.1 Организация методов исследования коррозии	39
3.1.1 Результаты измерения начальной массы пластинок	40
3.1.2. Результаты исследования №1	40
3.1.3 Результаты исследования №2	41
4. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО БОРЬБЕ С КОРРОЗИЕЙ	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
ПРИЛОЖЕНИЕ	54

ВВЕДЕНИЕ

Под коррозией обычно понимают разрушение металла или сплава после их взаимодействия с агрессивной средой. В том случае, когда химическое воздействие сопровождается физическим разрушением металлов, говорят о явлении коррозионной эрозии [10]. При этом объектом коррозии является металл, а коррозионной средой – агрессивная по отношению к металлу среда, контактирующая с его поверхностью.

Необходимость коррозионных исследований обусловлена следующими факторами:

- борьба с потерей металла;
- предотвращение разрушения оборудования и металлических конструкций, разрушение которых в результате коррозионных процессов может привести к аварийным выбросам вредных веществ в окружающую среду;
- экономические факторы – сведение к минимальному уровню потерь металла.

В промышленно развитых государствах суммарные коррозионные потери находятся на уровне 3-4% от валового национального продукта [6].

Наибольшее значение противокоррозионная защита получила в системах трубопроводного транспорта продуктов нефтепереработки, в силу того, что коррозионные разрушения системы трубопроводов могут привести не только к потерям ценных материалов, но и к значительному вреду окружающей среде.

На территории Самарской области функционирует ряд предприятий химической промышленности, таких как ОАО «ТольяттиАзот», ОАО «Синтезкаучук», ОАО «Куйбышевазот», которые экспортируют свою продукцию в другие страны. Чаще всего транспортировка продукции осуществляется с помощью стальных цистерн, которые в условиях

постоянного контакта с агрессивной средой подвергаются коррозионным разрушениям, что чревато упомянутыми выше последствиями.

Бакалаврская работа посвящена исследованию коррозионной стойкости стали марки 09Г2С в различных средах. Актуальность темы исследования обусловлена широким применением сталей данной марки во всех отраслях промышленности.

Целью бакалаврской работы является определение оптимальных противокоррозионных мер для защиты изделий из стали 09Г2С.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

1. Изучение основных физико-химических процессов характеризующих коррозионное разрушение металла.
2. Проведение патентного поиска по проблеме исследования.
3. Изучение современных методов борьбы с коррозией.
4. Экспериментальное изучение действия ингибиторов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Физико-химические основы процесса коррозии металлов

Для большинства технических металлов металлическое состояние как таковое является термодинамической неустойчивой системой, а в условиях коррозионной среды энтропийность такой системы еще выше [11]. Как следствие система с целью достижения термодинамического равновесия начинает взаимодействовать с окружающей средой, тем самым переходя в состояние относительного термодинамического равновесия.

Такой переход в буквальном смысле сопровождается переходом атомов металла в иное состояние с последующим образованием растворимых оксидов, гидроксидов, а иногда и комплексных соединений.

Механизм коррозионного процесса зависит от пути, по которому совершается переход атомов металла и бывает: химическим, электрохимическим или биологическим.

В общем случае химической коррозией называют гетерогенную реакцию, происходящую на границе раздела фаз металл – агрессивная среда. Примером химической коррозии выступает взаимодействие поверхности металла с сухим газом или раствором электролита, причем газовая коррозия наиболее опасна. Основные виды химической коррозии поверхности металла представлены на рисунке 1 [3].

Наиболее распространенным видом коррозионных разрушений выступает электрохимическая коррозия, здесь в отличие от химической коррозии можно наблюдать два параллельных процесса: анодный и катодный [2].

Анодный процесс сопровождается переходом атома металла в раствор в качестве гидратированных ионов или путем перехода через промежуточное неустойчивое комплексное состояние. Также могут образовываться стабильные оксиды или гидроксиды, реже сольватные или

комплексообразующие ионы электролита. В анодном процессе валентные электроны атомов металла не участвуют.

Катодный процесс выражается в ассимиляции избыточных электронов атомов металла, которые в результате катодного процесса восстанавливаются [9].

Ионная проводимость раствора способствует локализации коррозионных разрушений на отдельных участках металла.

Следует заметить, что деление на химическую и электрохимическую коррозию довольно условное, тем более часто наблюдает переход одного вида коррозий в другой.

Электрохимическая гетерогенность обусловленная локализацией катодных и анодных процессов заключается в различии электрохимических потенциалов (плотности гальванического тока) на корродирующих поверхностях. Иногда электрохимическая гетерогенность обусловлена различием состава или ориентации кристаллов, а также присутствием посторонних включений в кристаллической решетке. Основные типы электрохимической гетерогенности и соответствующие типы коррозии представлены в таблице 1.

Субмикроэлектрохимическая неоднородность в условиях отсутствия механических напряжений приводит к быстрым и непрерывно флуктуирующим перемещениям анодных и катодных участков, что приводит к гомогенно-электрохимическому характеру разрушений [16].

Гомогенный механизм разрушений характерен для особо чистых металлов, технические сплавы корродируют по гетерогенному механизму.

При воздействии на поверхность металла микроорганизмов возникает биохимическая коррозия. Такой вид коррозии характерен для металлов находящихся в контакте с почвой или водной средой, в которых насчитывается большое количество различных микроорганизмов (бактерий, грибков и т.д.).

Доказано, что наибольший вклад в развитие биохимической коррозии вносят бактерии в силу высокой скорости размножения последних [13].

Для протекания биохимической коррозии бактерии должны находиться в условиях повышенной влажности, в определенных интервалах давлений и температур. Также для успешного процесса размножения бактериям необходим доступ азота, минеральных солей и других соединений обуславливающих для бактерий оптимальную среду обитания.

В силу того, что микробиологическая коррозия протекает во влажных средах, можно считать, что она протекает согласно электрохимическому механизму [15].

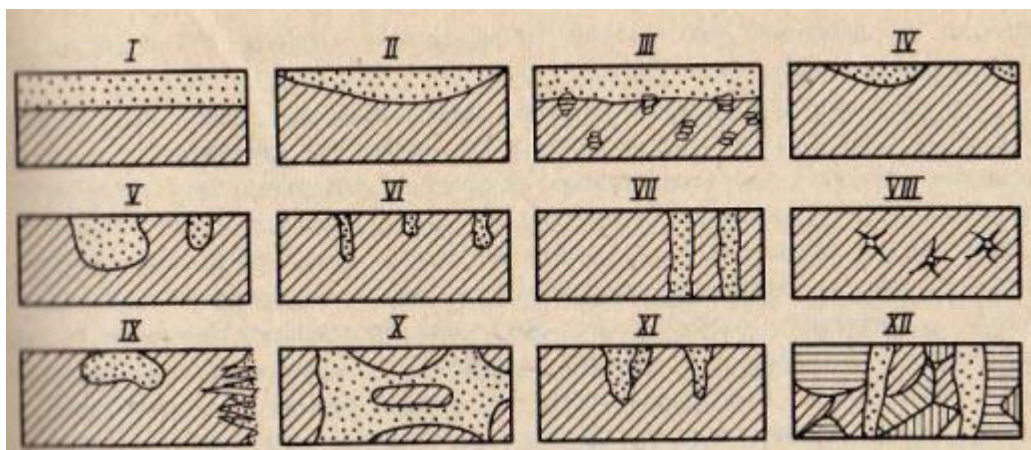


Рисунок 1 – Характер коррозионных разрушений

I – равномерное разрушение; II — неравномерное разрушение; III — избирательное разрушение; IV — пятна; V — язвы; VI — разрушение точками или питтингами; VII — сквозное разрушение; VIII — нитевидное разрушение; IX — поверхностное разрушение; X — межкристаллитное; XI — ножевое разрушение; XII — растрескивание

Микроорганизмы могут вызывать коррозию, влияя на кинетику электродных реакций и продуцировать вещества, вызывающие коррозию, создавая на поверхности металла условия, которые способствуют появлению концентрационных электрохимических элементов. Данные факторы могут действовать совместно. В таблице 2 [43] приведены некоторые виды и признаки микроорганизмов, которые вызывают коррозию сооружений из стали.

Таблица 1 – Основные типы электрохимической неоднородности корродирующей поверхности [46]

Характер неоднородности		Характер коррозионного разрушения поверхности	Примеры
Размеры катодных и анодных участков	Степень постоянства местоположения катодных и анодных участков		
1	2	3	4
Соизмеримы с размерами конструкции или детали (более 1 мм)	Стабильное расположение катодных и анодных участков	Явная местная коррозия отдельных участков поверхности конструкции или сплава	Контакт разнородных металлов Дифференциальная аэрация Образование питтинга, щелевая коррозия Коррозионное растрескивание или усталость
Соизмеримы с размерами кристаллической структуры металла (от 1 мм до 0,1 мкм)	Возможно постепенное перемещение катодных и анодных участков	Микронеравномерная коррозия. В макромасштабе условно может быть рассмотрена как равномерная	Межкристаллитная коррозия Структурно-избирательная коррозия
Соизмеримы с размерами кристаллической решетки металла от 100 до 1 нм (от 1000 до 10 Å)	Постоянное перемещение (флуктуация) катодных и анодных участков	Внешне вполне равномерная коррозия, однако в случае коррозии сплава происходит обогащение поверхности атомами более устойчивого компонента	Компонент – избирательная коррозия сплава типа твердого раствора

1	2	3	4
			Наличие дислокаций в кристаллической решетке
			Различие в расположений атомов
			Термическая флуктуация атомов металла и молекул ионов растворителя

Таблица 2 – Характеристика некоторых бактерий – стимуляторов коррозии металлов

Название	Отношение к кислороду воздуха	Субстрат воздействия	Главные конечные продукты	Место обитания	Активны при рН	Оптимальная температура, °С
1	2	3	4	5	6	7
Железобактерии (например <i>Leptothrix Grenotrix</i>)	Аэробы	$Fe_2(CO_3)_3$ $Fe(HCO_3)_3$ $Mn(HCO_3)_3$	$Fe(OH)_3$	Застойные и текущие воды с органическими веществами и солями железа	4...10	24(пределы 5...40)
Нитрифицирующие бактерии (например <i>Nitro-somons</i>)	Аэробы	$(NH_4)^+$	NO_3^-	Почва	7,5...8,0	25...30
Нитратвосста	Факультативные	NO_3^-	NO_2^-	Почва, воды,	7,...7,5	27

1	2	3	4	5	6	7
навливавающ ие бактерии (например <i>Nitro-coccus deni-trificans</i>)	тивные анаэробы		(NH ₄) ⁺	содержащие органические вещества и нитраты		
Сульфатвосс танавливающ ие бактерии (например <i>De-sulfovibrio desulfuricans</i>)	Анаэробы	SO ₄ ²⁻ S ₂ O ₃ ²⁻	H ₂ S	Пресная и морская воды, грязи, нефтяные скважины, почва, подземные воды	6...7,5 (предел ы 5...9)	25...30; для термофило в 55...65
Сероокисля- ющие бактерии (например <i>Thio-bacillus thiooxidans</i>)	Анаэробы	S ²⁻ S ₂ O ₃ ²⁻	S; S ₂ O ₄ ²⁻	Грязи, почва, сточные воды, речная и морская воды	7...0,5	Пределы 18...37

1.1.2 Металлы и электролиты

Для твердого агрегатного состояния металлов характерна микрокристаллическая структура. Узлы кристаллической решетки представляют собой ионы (атомы металла, валентные электроны), которые в силу свободного перемещения могут одновременно принадлежать и одному и другому атому [8].

В большинстве случаев свободному выходу электронов из сферы металла препятствует низкое значение энергии электрона, в результате чего электрон не может преодолеть потенциальный барьер и вырваться на поверхность металла. Но в реальных условиях кристаллическая решетка металла не совсем идеальна, в силу включений примесей, что приводит к

тому, что поверхность металла представлена сочетаниями различных кристаллов, обычно разнонаправленных. Ионы металла на поверхности не насыщены, что ведет к увеличению адсорбционной способности поверхности [18,56,59].

Когда металлы контактируют с различными элементами и образуют соли, в таких элементах металлы обычно находятся в виде положительных ионов.

Металлы и сплавы принято делить на черные и цветные. К первой категории относят железо, ко второй – цинк, свинец, олово, висмут, кобальт, алюминий, медь, никель и др.

В зависимости от плотности металлы подразделяют на легкие и тяжелые, выделяют также редкие и благородные металлы.

Из наиболее важных в промышленности металлов самыми распространенными являются железо, его содержание в Земной коре оценивается в пределах 5%, алюминий (почти 8%), магний и титан, содержание 2,1 и 0,6% соответственно [18].

Железу принадлежит лидирующая позиция, на его долю приходится около 95% общего использования металлов.

Железо широко применяется в системах металлических трубопроводов транспорта нефтепродуктов, часто используется в виде сплава с алюминием.

Атомная масса железа – 55,847, плотность при нормальных условиях 7,87 г/см³; температура плавления составляет 1536 °С, а температура кипения 3070 °С; электроотрицательность равна 1,8; характерные степени окисления железа от 0 до +6; имеет бело-серебристый цвет [57].

Выделяют три аллотропные модификации железа, переход между которыми осуществляется при температурах 906 и 1401 °С [37].

Сплавы железа, которые используются в трубопроводном транспорте в виде стали, содержат от 0,1 до 0,7 % углерода [21], низколегированные стали имеют в составе такие добавки как Ni, С, и Мо.

Атомная масса алюминия 27 г/моль [26]; плотность – 2,7 г/см³; температуру плавления – 659°C; температура кипения – 2447°C; электроотрицательность – 1,5; степень окисления алюминия от – 1 до +3; имеет серебристый цвет [27].

Алюминий имеет свойство самопассивирования, на его поверхности образовывается защитная пленка даже в том случае, если окислители отсутствуют.

Алюминий – это амфотерный элемент, он может проявлять как металлические так и неметаллические свойства [42].

В чистом виде используется в качестве токоведущих жил, проводов и т.д. В металлоконструкциях используются сплавы алюминия [32]: дюралюминий (Cu – 2,5...5; Mg – 0,5...0,12; Mn – 0,2...1,0), силумин (Si – 12...14); магналий (Mg – 10...30).

Электролиты состоят из водных растворов кислот, оснований и солей и содержат ионы веществ после диссоциации [50].

Вода – это простейшее устойчивое состояние водорода и кислорода. Она состоит на 89% из кислорода и на 11 % из водорода [14].

Кислород имеет атомную массу 15,9994; представляет собой газ, жидкий – голубого цвета; решетка – ромбическая (α), (β) или кубическая (γ); плотность кислорода 1,4299 г/л; температура плавления – 218,8 °С; температура кипения – 183°C [20].

Водород представляет собой бесцветный газ, не имеющий запаха. Легче воздуха, атомная масса 2,02 г/моль, температура кипения –252,77°C [20].

У чистой воды нет вкуса, цвета и запаха. Вода замерзает при 0°C и закипает при 100°C. Она имеет максимальную плотность при давлении 0,1 МПа и температуре 3,98°C; если температура увеличивается или уменьшается, то плотность снижается. Когда вода замерзает, её плотность становится меньше, и она расширяется (примерно на 10%) [1].

Для воды характерны высокая теплопроводность и относительно высокая температура плавления. Зависимость вязкости воды при температуре $0^{\circ}\text{C} - 1,787 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, при $20^{\circ}\text{C} - 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ [7]. Аномальна зависимость теплопроводности от температуры, увеличивающейся с ее ростом. Теплопроводность жидкой воды при $0^{\circ}\text{C} - 0,5028 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$; при $20^{\circ}\text{C} - 0,59917 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ [31].

В электрическом отношении молекула воды ведет себя как диполь [17], который представляет собой систему состоящую из двух одинаковых, но противоположно направленных зарядов q , расположенных на расстоянии l друг от друга. Дипольный момент $\mu = q \cdot l$ определяет полярность молекулы.

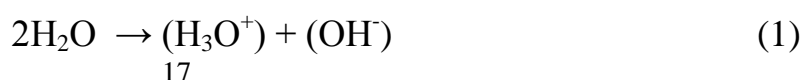
При растворении вещества имеющего ионную кристаллическую решетку, вследствие высокой электропроницаемости ионов, происходит взаимное притяжение молекул воды (диполя) и ионов металла. Иногда силы такого притяжения во много раз превосходят силы притяжения между ионами, что в свою очередь обуславливает переход последних из кристаллической решетки металла на его поверхность в виде иона несущего определенный заряд [19]. Вокруг такого иона концентрируется большое количество молекул воды [55].

Такой механизм взаимодействия поверхности метала с молекулами воды, в результате, которого движение структурных единиц на поверхности раздела фаз теряет поступательную направленность и превращается, по сути, в единую кинетическую единицу, принято называть сольватацией.

Если ионы контактируют с диполями воды, то происходит явление гидратации, вокруг каждого иона образуются оболочки из диполей воды.

Таким образом, благодаря диссоциации растворимых веществ на ионы, образуются электролиты.

Химически чистая вода слабо диссоциирует на ионы гидроксония (H_3O^+) и гидроксила (OH^-) [48]. Ион гидроксония – это гидратированный ион водорода ($\text{H}^+ \cdot \text{H}_2\text{O}$)



Для практических целей вместо иона гидроксония пишут ион водорода (H^+)



Концентрация H -ионов в чистой воде при $25^\circ C$ равна $C_H = 1 \cdot 10^{-7}$. Отрицательный логарифм концентрации ионов водорода $lg(H^+)$ называется водородным показателем (pH) и является удобной характеристикой свойств раствора. Для воды $pH = -lg 1 \cdot 10^{-7} = 7$.

При значениях $pH < 7$ среда кислая, при значениях $pH > 7$ – щелочная. Шкала измерений pH обычно имеет диапазон от 0 до 14 [4].

1.1.3 Показатели коррозии. Способы выражения скорости коррозии

Количественно скорость коррозии принято оценивать с помощью следующих показателей [12].

Массометрический показатель скорости процесса коррозии, представляет собой уменьшение массы металла с единицы поверхности в единицу времени [5] (формула 3).

$$K_m = (m_0 - m) / S \cdot t, \quad (3)$$

где m_0, m – масса образца до и после испытания соответственно;

t – время испытания

S – площадь поверхности образца;

Указанный показатель может использоваться только в случае оценки равномерной коррозии, в случае оценки межкристаллитных разрушений его использование не является показательным.

Объемный показатель коррозии определяется как отношение объема выделенного или поглощенного газа при коррозии к поверхности образца и времени испытания [22] (формула 4).

$$K_v = V / S \cdot t, \quad (4)$$

где V – объем поглощенного или выделенного газа.

В кислой среде металл переходит в продукт коррозии с выделением водорода, в нейтральной и щелочной среде образование коррозионных продуктов сопровождается поглощением эквивалентных количеств кислорода [53].

Глубинный показатель скорости коррозии представляет собой отношение глубины коррозионного разрушения к времени процесса (формула 5).

$$K_l = l/t, \quad (5)$$

где l – глубина каверны.

Сравнение массометрического и глубинного показателей позволяет судить о степени равномерности коррозионного разрушения [38].

Механический показатель коррозии показывает изменение механических свойств металла за время испытаний в процентах. Например, показатель изменения предела прочности (формула 6).

$$K_g = G_{B1} / G_B, \quad (6)$$

где G_{B1} , G_B – соответственно предел прочности металла до и после испытаний.

Токовый показатель коррозии. С его помощью оценивается количество прокорродировавшего металла по известной силе коррозионного тока [34] (формула 7).

$$K_a = I \cdot A \cdot t / (F \cdot S), \quad (7)$$

где I – ток коррозии;

F – константа Фарадея;

A – атомная масса металла;

n – валентность металла в данном коррозионном процессе.

В соответствии с ГОСТ 13819-68 коррозионную стойкость металлов рекомендуется определять в зависимости от скорости коррозии, которая оценивается по десятибалльной шкале (табл. 3).

Таблица 3 – Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,05	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
Пониженно-стойкие	Свыше 0,1 до 0,5	6
	Свыше 0,5 до 1,0	7
Малостойкие	Свыше 1,0 до 5,0	8
	Свыше 5 до 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10	10

Под скоростью коррозии в десятибалльной шкале понимают проникновение коррозии в глубину металла, которая рассчитывается по потере массы после удаления продуктов коррозии [23] (формула 8).

$$П = \Delta M / \rho \cdot t , \quad (8)$$

где ΔM – убыль массы металла;

ρ – плотность металла.

Коррозионную стойкость металлов при скорости коррозии 0,5 мм/год и выше оценивают по группам стойкости при скорости коррозии ниже 0,5 мм/год по баллам.

Периодичность оценки скорости коррозии оборудования рекомендуется следующая [33]:

- при скорости коррозии более 0,1 мм/год – 1,5...2 мес.;
- при скорости коррозии менее 0,1 мм/год – 12 мес.

Следует отметить, что приведенная ниже шкала оценки коррозионной стойкости получила достаточно широкое распространение, однако она не универсальна в силу того, что понятие стойкости относительно и связано с назначением оборудования и свойствами коррозионной среды. В качестве

примера в таблице 4 [58] приведены данные о скорости коррозии стали нефтяного оборудования при контакте с типичной для него коррозионной средой [58].

Таблица 4 – Скорость коррозии стали в двухфазной среде 0,5 н. раствор NaCl -углеводород

Углеводород	Скорость коррозии, г·(м ² ·ч)		Углеводород	Скорость коррозии, г·(м ² ·ч)	
	без H ₂ S	800 мг/л H ₂ S		без H ₂ S	800 мг/л H ₂ S
0,5Н раствор			Октан	2,2	4,7
NaCl	3,0	4,5	Этилбензол	2,7	4,8
Гексан	2,4	4,6	Гексадекан	1,5	3,5
Бензол	2,6	4,9	Додекан	0,5	-
Циклогексан	2,1	4,3			

1.2 Основные методы защиты от коррозии

Защита наружных металлических поверхностей различных сооружений и систем трубопроводного транспорта от коррозионных разрушений осуществляется как активными, так и пассивными методами [24].

К активным методам относят анодную, катодную и электродренажную защиту, к пассивным методам относятся методы связанные с нанесением различных изоляционных и защитных покрытий.

Внутренние поверхности защищают от коррозионных разрушений в основном пассивными методами, к ним относят использование ингибиторов и защитных покрытий [49].

1.2.1 Ингибиторы коррозии

Ингибиторы коррозии – это вещества способные значительно замедлить коррозионные процессы, а в некоторых случаях и вовсе их подавить.

Механизм действия ингибиторов заключается в изменении кинетических показателей электрохимической реакции сопровождающей коррозионное разрушение, при этом использование ингибиторов способно тормозить как катодный, так и анодный коррозионный процесс, а в некоторых случаях обе реакции одновременно [35]. Снижение скорости коррозии может быть обусловлено также появлением на поверхности металла защитной пленки с низким значением электропроводности.

Механизм анодного ингибитора заключается в пассивации анодного участка поверхности металла, таким способом иногда можно достичь практически полного прекращения коррозионного процесса. В современной практике наибольшее распространение получили анодные ингибиторы на основе молибдена и вольфрама [28].

При использовании анодных типов ингибиторов следует учитывать, что недостаток ингибитора может не только не прекратить коррозионные процессы, а наоборот ускорить их, что приведет к развитию питтинговой коррозии.

Минимальная концентрация CrO_4^{2-} , NO_2^- , MoO_4^{2-} , которые используют как ингибиторы коррозии стали, равна $10^{-4} \dots 10^{-3}$ моль/л. Если в среде повышается температура и присутствуют активаторы, например Cl^- -ионы, концентрацию ингибиторов нужно увеличить [25].

Катодные ингибиторы замедляют коррозию из-за торможения некоторых стадий катодной реакции или уменьшения площади катодов. Уменьшение площади катодов обуславливается добавлением ингибиторов, которые на катодных участках в условиях местного подщелачивания среды создают нерастворимые продукты, отделяющие часть поверхности катодов от раствора. Этим веществом выступает, например, бикарбонат кальция Ca_2CO_3 . Поэтому в жесткой воде коррозия стали протекает менее агрессивно, чем в мягкой воде [40].

Смешанные ингибиторы по своим защитным свойствам менее эффективны, чем анодные, но они менее опасны и, как правило, не приводят

к росту интенсивности коррозии при их недостаточной концентрации. При преимущественном торможении катодного процесса их свойства приближаются к свойствам катодных ингибиторов.

Количественная оценка действия ингибитора (при определенной его концентрации в среде) на скорость коррозионного процесса характеризуется эффективностью защитного действия Z или коэффициентом ингибирования γ [51].

Эффективность защитного действия ингибитора определяют на основании лабораторных или полевых испытаний по уравнению 9 [47].

$$Z = \frac{K_m - K_{mз}}{K_m} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где K_m – скорость коррозии металла в коррозионной среде, не содержащей ингибитора, г/(м²·ч);

$K_{mз}$ – скорость коррозии металла в тех же условиях, но при наличии в среде ингибитора, г/(м²·ч).

Коэффициент ингибирования определяется по уравнению 10 [54].

$$\gamma = K_m / K_{mз}. \quad (10)$$

1.2.1.1. Механизм защитного действия ингибиторов

Классификация ингибиторов определяется исходя из среды их действия. Таким образом, существуют ингибиторы, используемые в атмосферных условиях и ингибиторы, используемые в жидких средах, которые в свою очередь классифицируют в зависимости от характера среды, в которой они применяются (нейтральная, щелочная, кислотная). В зависимости от агрегатного состояния, ингибиторы бывают жидкие и твердые, растворимые и нет [60].

К примеру, для ингибиторов, применяемых в качестве защитных материалов от коррозионных процессов в технологии добычи и транспортирования углеводородов, предъявляют следующие требования: способность к образованию стойких эмульсий и растворимость в

углеводородном сырье. Помимо этого ингибиторы должны защищать внутренние стенки трубопроводной системы от агрессивного влияния гидратов серы и хлора и выдерживать относительно высокие температуры.

Как показывают практические испытания, большинство широко используемых ингибиторов не только сохраняют свои свойства при относительно высоких температурах, но и повышают свои защитные способности. В большинстве случаев защитный эффект ингибитора достигается за счет образования прочной связи между поверхностью металла и полярными молекулами ингибитора, в основном за счет хемосорбции [52].

Большинство ингибиторов получивших широкое применение в различных отраслях промышленности представляют собой азотосодержащие органические соединения с большими углеродными скелетами (имидозолины, производные смоляных аминов, четвертичные соединения, производные алифатических жирных кислот).

Защита оборудования от коррозии при воздействии среды, содержащей сероводород, осуществляется ингибитором И-1-А, скорость коррозии замедляется на 90-95%, при этом срок действия защиты сохраняется в течение 220 суток. Ингибиторы типа И-1-А, АНПО, ИКСГ-1, КО, ГИПХ-37 и другие обладают свойствами поверхностно-активных веществ и воздействуют на среду как стабилизаторы эмульсий «вода в масле» [56].

В зависимости от природы ингибитора отличаются и способы их введения в агрессивную среду. Однократная обработка ингибитором осуществляется в основном путем нанесения слоя концентрированного ингибитора на защищаемую поверхность, защитное действие продолжается от полутора месяцев до года. Непрерывную подачу ингибитора рекомендуют производить непосредственно в трубопроводную систему с заданным расходом. Твердые виды ингибиторов подаются в установки с помощью шлюзовой камеры.

1.2.2 Защитные и изоляционные покрытия

Защитные коррозионные покрытия используют как металлической, так и неметаллической природы. Среди наиболее используемых металлических покрытий наибольшую популярность получили хромовые, алюминиевые, никелевые и цинковые покрытия. Неметаллические покрытия представляют собой различные органические и неорганические вещества (полимеры, битумы, цементы) [36].

Нанесение металлического покрытия возможно несколькими способами:

- физическим (плакирование, металлизация, конденсация, диффузионное насыщение);
- химическим (оксидирование);
- электрохимическим (хромирование, цинкование).

По защитному действию металлические покрытия принято классифицировать на анодные и катодные. Механизм действия анодных покрытий – электрохимический, образование гальванической пары в порах между защищаемым металлом и покрытием, в этом случае покрытие выступает в качестве анода и разрушается, тем самым защищая целевой металл [29]. Катодное покрытие изолирует металл от воздействия коррозионной среды в основном механически. В случае присутствия пористости, происходит разрушение основного металла в виде локализованных участков, в результате чего образуются промежуточные соединения на поверхности, которые замедляют дальнейший коррозионный процесс.

Использование битумных покрытий оправдано при защите внутреннего слоя труб диаметром меньше 820 мм, температура транспортируемой жидкости не должна превышать 40°C [41]. Битумно-резиновая мастика изготавливается в промышленных масштабах путем обезвоживания битума и введения в него специальных резиновых крошек, температура процесса находится в пределах 200-240°C [39].

Минеральными наполнителями битумных покрытий являются доломиты и известняк [44].

В производстве битумно-полимерных мастик применяют резиновую крошку, полидиен, атактический полипропилен и порошкообразный полиэтилен.

С целью повышения пластичности защитных битумных покрытий допускается введение специальных пластификаторов, обычно для этой цели используется зеленое или соевое масла.

В качестве армирующей добавки в битум может вводиться определенное количество стекловолокна марок ВВ-Т или ВВ-К, такие добавки необходимы для повышения прочности защитного покрытия.

Для исключения механического повреждения битумного покрытия могут использоваться различные обертки (бризол, бикарул, пленка ПДП и т.д.).

Грунтовку для битумного покрытия изготавливают из битума, который растворяют в резине в соотношении 1:3, она представляет собой вязкий раствор, содержащий синтетический каучук, нефтяной битум, растворитель и ингибитор.

Для защиты подземных трубопроводных систем могут использоваться полимерные защитные покрытия, которые изготавливаются как в заводских, так и в полевых условиях. Основным компонентом таких покрытий выступает поливинилхлорид, в виде ленты с самоклеящимся слоем [30].

Наибольшее распространение в настоящее время получили следующие марки лент: ПЭЛ, ЛПТ, ПВХ-БК, ПИЛ, ЛПД.

Полиэтиленовые полимерные ленты находят применение в защите трубопроводов диаметром до 1420 мм, температура транспортируемой жидкости не должна превышать 35 °С. Температурный диапазон применимости покрытия может быть скорректирован путем введения специальных добавок [45].

Стеклоэмаль и эмаль представляет собой расплав оксида, который наносится в один или несколько слоев на защищаемую поверхность. Использование комбинации из нескольких оксидов может значительно расширить возможность применения такого защитного покрытия.

Особенностью таких покрытий является то, что их наносят только в заводских условиях, что значительно влияет на их прочность и качество, но вместе с тем это обуславливает их высокую стоимость и ограничивает диапазон применения.

1.3 Сталь 09Г2С. Коррозия стали

Исходя из маркировки стали, в соответствии с ГОСТ 5058-65 следует, что сталь 09Г2С содержит марганец и кремний в качестве легирующих добавок.

Согласно общепринятой классификации первая цифра указывает процентное содержание углерода (0,09%), далее указываются легирующие добавки (марганец, кремний) не более 2 и 1% соответственно [26].

Делаем вывод, что указанная марка стали относится к низколегированным маркам, так как общее количество легирующих компонентов не превышает 2,5%.

Схожими по характеристикам (взаимозаменяемыми) могут быть следующие марки: 09Г2ДТ, 10Г2С, 09Г2, 09Г2Т.

Сталь предназначена в основном для изготовления сварных конструкций. При этом сварные работы можно проводить как с предварительным подогревом, так и без него. Свариваемость стали обусловлена низким содержанием углерода, что препятствует образованию микропор в сварных швах. Среди достоинств данной марки стали следует выделить еще достаточную стойкость к образованию трещин и отсутствие хрупкости [28].

Для сварки листов 09Г2С, толщина которых не выше 40 мм, используют способ без разделения кромок. Прочность сварного шва

обуславливается переходом легирующих элементов в металл шва из электрода. При многослойной сварке применяют каскадный метод с токами 40-50А на 1 мм электрода, чтобы не перегреть сталь. Рекомендуемая толщина электрода – 4-5 мм. Если происходит сварка более толстых листов, то желательно использовать многослойную сварку с временными промежутками, перед тем как накладывать следующие слои. При дуговой сварке кромок с разной толщиной большую часть дуги нужно направлять на более толстую кромку и параметры тока выбирать по ней же. Для того, чтобы устранить закалку и повысить твердость шва следует нагреть изделие до 650°С, выдержать при этой температуре (время выдержки зависит от толщины материала, в среднем дается 1 час на каждые 25 мм толщины). После этой процедуры изделие нужно охладить на воздухе или в горячей воде.

Популярность стали 09Г2С во много объясняется высокими механическими свойствами, что способствует ее широкому использованию в изготовлении строительных конструкций различной сложности. Еще одним положительным аспектом ее использования, выступает относительно малая плотность и как следствие меньший вес в сравнении с другими марками стали.

Помимо указанного сталь марки 09Г2С характеризуется широким интервалом температур, что позволяет изготавливать из нее как детали трубопроводов транспортирующих жидкости с температурами до 450 ° С, так детали механизмов способные работать в условиях достаточно низких температур [47].

2. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК

Дипломная работа посвящена изучению процессов коррозии стали марки 09Г2С в различных средах.

С целью выявления аналогов процесса, а также последних достижений в области синтеза реагентов и ингибиторов коррозионных процессов низкоуглеродистых сталей, был осуществлен патентный поиск.

Поиск проведен по реферативному журналу «Изобретения стран мира» в Российской государственной патентной библиотеке и по реферативному журналу «Химия» в Государственной публичной научно-технической библиотеке. Глубина поиска составила 20 лет (1996-2016г.г.).

Результаты патентного поиска представлены в таблице 5.

Таблица – 5 Результаты патентного поиска

№ пп	Страна	Регистрационный номер заявки патента, авторского свид-ва и дата	Классификационный индекс	Название изобретения
1	РФ	Дата подачи заявки: 23.04.2003 Дата публикации патента: 27.06.2004 №2231574	C23F11/00	Ингибитор формальдегидной коррозии углеродистых сталей
2	РФ	подача заявки: 2002-11-26 публикация патента: 10.10.2004 Патент №2237747	C23F11/14	Ингибитор нитратной солевой коррозии углеродистых сталей

Краткое описание и анализ патентов представлен ниже.

коррозионных испытаниях, соответствовал требованиям ТУ 2223-009-00206492-98 и имел следующие показатели качества:

- Массовая доля карбамида во всех формах, мас.% 21,0-24,0.
- Массовая доля формальдегида во всех формах, мас.% 54,5-59,0.
- Вода.
- Остальное.
- Мольное соотношение формальдегид : карбамид 4,9-5,2.

В качестве ингибитора формальдегидной коррозии брали продукт со следующими показателями качества:

- содержание полиамина, мас.% 25,0;
- содержание формальдегида, мас.% 1,5;
- содержание аммиака, мас.% 2,2;
- вода;
- остальное;

Результаты коррозионных исследований приведены в таблице 6.

Из описания изобретения и таблицы 6 видно, что по заявленному техническому решению удастся достичь высокой стойкости.

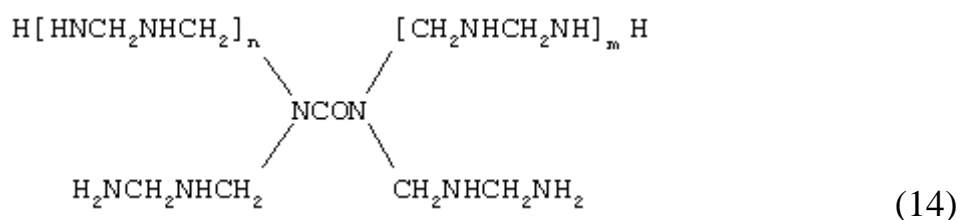
Таблица 6 – Защитные свойства ингибитора в КФК-80

Примеры	T, °C	Концентрация ингибитора в КФК-80, масс.%	Скорость коррозии *10 ³ , мм/год
1	2	3	4
СТАЛЬ 3			
1	20	0	5,9
2		0,5	1,8
3		1,0	0,6
4	45	0	116,4
5		1,0	1,4
Сталь 09Г2С			
6	20	0	4,5
7		0,5	1,6

1	2	3	4
8		1,0	0,5
9	45	0	95,2
10		1,0	1,3

Формула изобретения

Ингибитор формальдегидной коррозии углеродистых сталей, включающий полиамин, формальдегид, аммиак и воду, отличающийся тем, что в качестве полиамина взят продукт общей формулы 14.



где $n=0;1$, $m=0;1$; $n+m=0-2$,

при следующем содержании компонентов в композиции, мас. %:

- Полиамин 10 – 40.
- Формальдегид 0,01 – 4.
- Аммиак 0,01 – 3,5.
- Вода.
- Остальное.

Вводимый в количестве 0,1-3 мас.% в расчете на 100 мас.% карбамидоформальдегидного концентрата.

2.2 Патент №2237747 Ингибитор нитратной солевой коррозии углеродистых сталей

Ингибитор включает, мас. %: полиамин 10-40, формальдегид 0,01-4,0, аммиак 0,01-3,5, вода остальное, причем в качестве полиамина взят продукт общей формулы $\text{H}_2[\text{HNCH}_2\text{NHCH}_2]_n\text{NCON}[\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{NH}]_m\text{H}_2$, где $n=1; 2$; $m=1; 2$. Концентрация ингибитора в растворе удобрения составляет 0,01-3,0 мас. %. Технический результат: получение высокоэффективного ингибитора

нитратной коррозии углеродистых сталей, растворимого в воде в любых соотношениях. 1 з.п. формулы, 1 табл.

Изобретение относится к области защиты металла от нитратной солевой коррозии и может найти применение при производстве и транспортировке минеральных удобрений, например аммиачной селитры или ее смесевых композиций с карбамидом[60].

Для рассматриваемых продуктов коррозионно-активными веществами являются растворы аммиачной селитры, известные как сильные окислители и в зависимости от способов получения данного вида удобрения, содержащие небольшие количества минеральных кислот (HNO_3 , $\text{HF}\cdot\text{H}_3\text{PO}_4$). По указанной причине для водных растворов NH_4NO_3 характерно протекание кислотной коррозии, которая стимулируется нитрат-ионами.

В качестве ингибиторов последней часто используют органические вещества, относящиеся к алифатическим и ароматическим аминам или альдегидам.

Известен [SU №1761818 А1, кл. С 23 F 11/04] ингибитор кислотной коррозии металла, содержащий 98,04-99,26 мас.% азина фурфуриденцикланов и 0,74-1,06 мас.% иодида калия. К его существенным недостаткам следует отнести высокую стоимость фурфуриденцикланов, получаемых из гидразингидрата и фурфуриденциклопентанола, низкий защитный эффект в отсутствии иодида калия.

Наиболее близким по технической сущности является ингибитор коррозии стали [RU 2168561, кл. С 23 F 11/14], включающий производное амина, неионогенное ПАВ и растворитель, в качестве производного амина содержит жирный амин с числом углеродных атомов $\text{C}_8\text{-C}_{12}$ или продукт взаимодействия алкилфенола, формальдегидсодержащего продукта и вторичного амина $\text{R}_1\text{R}_2\text{NH}$ с алкилом $\text{R}_1, \text{R}_2 = \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{C}_2\text{H}_4\text{OH}, \text{C}_3\text{H}_6\text{OH}$ с мольным соотношением соответственно 1:(0,8-1,2):(0,8-1,2) при следующем соотношении компонентов, мас. %:

– Жирный амин или продукт взаимодействия, указанный выше 10-35.

- Неионогенное поверхностно-активное вещество 10-35.
- Растворитель.
- Остальное.

Недостатком известного ингибитора является его высокая пожаровзрывоопасность и низкий защитный эффект вследствие плохой растворимости в воде.

Задачей изобретения является высокоэффективный ингибитор нитратной коррозии углеродистых сталей, растворимый в воде в любых соотношениях.

Поставленная задача достигается тем, что в качестве ингибитора нитратной коррозии взята композиция, содержащая, мас. %:

- Полиамин формулы $H_2[HNCH_2NHCH_2]_nNCON[CH_2NHCH_2NH]_mH_2$, где $n=1; 2$, $m=1; 2$ 10-40
- Формальдегид 0,01-4,0.
- Аммиак 0,01-3,5.
- Вода.
- Остальное.

Вводимая в водный раствор аммиачной селитры и карбамида в количестве 0,01-3 мас. % на 100 мас. % раствора.

Особенности структуры этих соединений предполагают их многоцентровую адсорбцию на поверхности металла и, следовательно, высокий антикоррозионный эффект [60].

Отличие заявленного ингибитора от известных состоит в том, что для снижения коррозии углеродистых сталей, контактирующих с водными растворами аммиачной селитры или ее смеси с карбамидом, в качестве амино-содержащего продукта используется водный раствор полиамина общей формулы:



где $n=1; 2$, $m=1; 2$, защитный эффект которого усиливается присутствием в ингибирующей композиции небольших количеств формальдегида и аммиака.

Полиамин является смесью трех аминопроизводных мочевины следующего строения:

- $H_2NCH_2NHCH_2NHCONHCH_2NHCH_2NH_2$, $n=m=1$.
- $H_2NCH_2NHCH_2NHCON[CH_2NHCH_2NH_2]_2$, $n=1, m=2$ или $n=2, m=1$.
- $[H_2NCH_2NHCH_2]_2NCON[CH_2NHCH_2NH_2]_2$, $n=m=2$,
- растворимый в воде в любых соотношениях.

Определение параметров коррозионных процессов для углеродистых сталей «3» и «20» проводили в круглодонных колбах объемом 100 см³, снабженных обратным холодильником и помещенных в водяной термостат с заданной температурой. Подготовка прямоугольных образцов сталей 3 и 20 осуществлялась по общепринятым методикам. Растворы КАС-30, использованные при коррозионных испытаниях, соответствовали требованиям ТУ 113-03-689 и имели состав, мас. %:

- Карбамид 32,7.
- Аммиачная селитра 42,2.
- Вода и ингибитор коррозии.
- Остальное.

В качестве ингибитора нитратной солевой коррозии брали продукт со следующими показателями качества, мас. %:

- Содержание полиамина 25,0.
- Содержание формальдегида 1,5.
- Содержание аммиака 1,2.
- Вода.
- Остальное.

Результаты коррозионных исследований приведены в таблице 7.

Из описания изобретения и таблицы видно, что по заявленному техническому решению удастся достичь высокой стойкости углеродистых сталей к нитратной солевой коррозии.

Таблица 7 – Защитные свойства ингибитора в растворе КАС-30

Примеры	T □ C	Концентрация ингибитора в КАС-30, масс.%	Скорость коррозии г/м ² час	Коэффициент торможения коррозии	Эффективность защиты
СТАЛЬ 3					
1	20	0	0,17	-	-
2		0,3	0,005	33,6	97,0
3	45	0	4,0	-	-
4		0,3	0,008	500	99,8
5	82	0	60	-	-
6		0,2	4,49	13,4	92,5
7		0,3	0,33	182	99,5
8		0,5	0,32	188	99,5
СТАЛЬ 20					
9	20	0	0,41	-	-
10		0,03	0,018	261	99,6
11	45	0	5,1	-	-
12		0,03	0,039	131	99,2
13		0,05	0,020	255	99,6
14		0,1	0,020	255	99,6
15		0,3	0,018	261	99,6

Формула изобретения

1. Ингибитор нитратной солевой коррозии углеродистых сталей, включающий полиамин, формальдегид, аммиак и воду, отличающийся тем, что в качестве полиамина взят продукт общей формулы:



где n=1; 2, m=1; 2,

при следующем содержании компонентов, мас. %:

- Полиамин 10-40.
- Формальдегид 0,01-4.
- Аммиак 0,01-3,5.
- Вода.
- Остальное.

2. Ингибитор по п.1, отличающийся тем, что при производстве и транспортировке минеральных удобрений его концентрация в растворе удобрения составляет 0,01-3 мас. %[10].

Патентное исследование показало, что изучению данной темы посвящено много работ, а рассматриваемые выше патенты будут взяты за основу проведения экспериментальных исследований в изучении процессов коррозии стали 09Г2С. Автором указанных патентов исследована коррозионная активность КФК-85 и жидкого удобрения КАС-30 на стали 09Г2С. Результаты полученных экспериментальным путем данных будут представлены в следующем разделе дипломной работы.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ

3.1 Организация методов исследования коррозии

Оценка подверженности стали коррозии происходила при помощи следующих методов: анализ, структурирование, обобщение информации, эксперимент, наблюдение.

Мы предполагали, что исследовав изменение массы стальных пластинок в течение некоторого промежутка времени, сможем сделать вывод о влиянии различных сред на коррозию стали.

Схема эксперимента:

1. Зачистка поверхности стальных пластинок при помощи наждачной бумаги.
2. Измерение площади пластинок.
3. Измерение массы каждой пластинки.
4. Приготовление сред.
5. Внесение пластинок в соответствующие среды (для точности исследования в каждую среду вносилось по 3 пластинки).

Условия проведения исследования:

Исследование происходило спустя неделю и две недели от начала эксперимента. Во время каждого из двух исследований образцы вынимались из своих сред, зачищались от продуктов коррозии и взвешивались на электронных весах. Полученный результат заносился в таблицу 8.

Для расчета скорости коррозии нами была применена следующая формула 15.

$$v = \frac{m_1 - m_2}{S \times t} \times 525600, \quad (15)$$

где m_1 – начальная масса пластинки (г);

m_2 – конечная масса пластинки (г);

S – площадь пластинки (m^2); $S = 0,16 m^2$

t – время эксперимента (мин).

Для расчетов выводилась средняя масса трех пластинок.

3.1.1 Результаты измерения начальной массы пластинок

Таблица 8 – Исходная масса пластинок

Среда	Масса пластинки
Дистиллированная вода	10,3
0,05Н р-р HCl	10,28
0,05Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,45
0,1Н р-р HCl	10,32
0,1Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,73
0,1Н р-р H ₃ PO ₄	10,35
КФК 85	10,03

3.1.2. Результаты исследования №1

Через неделю от начала эксперимента было проведено первое измерение массы пластинок. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Масса пластинок через 1 неделю от начала эксперимента

Среда	Масса пластинки
Дистиллированная вода	10,29
0,05Н р-р HCl	10,22
0,05Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,43
0,1Н р-р HCl	10,22
0,1Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,67
0,1Н р-р H ₃ PO ₄	10,35
КФК 85	10,03

3.1.3 Результаты исследования №2

Через две недели от начала эксперимента было проведено второе измерение массы пластинок. Результаты также представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Масса пластинок через 2 недели от начала эксперимента

Среда	Масса пластинки
Дистиллированная вода	10,27
0,05Н р-р HCl	10,20
0,05Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,42
0,1Н р-р HCl	10,16
0,1Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,61
0,1Н р-р H ₃ PO ₄	10,35
КФК 85	10,03

Таблица 11 – Сводная таблица по окончании эксперимента

Среда	Исходная масса пластинки(г)	Масса пластинки через 1 неделю(г)	Масса пластинки через 2 недели(г)	Общая «потеря» массы(г)
Дистиллированная вода	10,3	10,29	10,27	-0,03
0,05Н р-р HCl	10,28	10,22	10,20	-0,08
0,05Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,45	10,43	10,42	-0,03
0,1Н р-р HCl	10,32	10,22	10,16	-0,16
0,1Н р-р HCl + 0,1Н р-р уротропина	10,73	10,67	10,61	-0,12
0,1Н р-р H ₃ PO ₄	10,35	10,35	10,35	0
КФК 85	10,03	10,03	10,03	0

Ниже представлены графики изменения массы пластинок в течение двух недель и рассчитана скорость коррозии в год для каждой среды:

$$\vartheta = 4,88 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

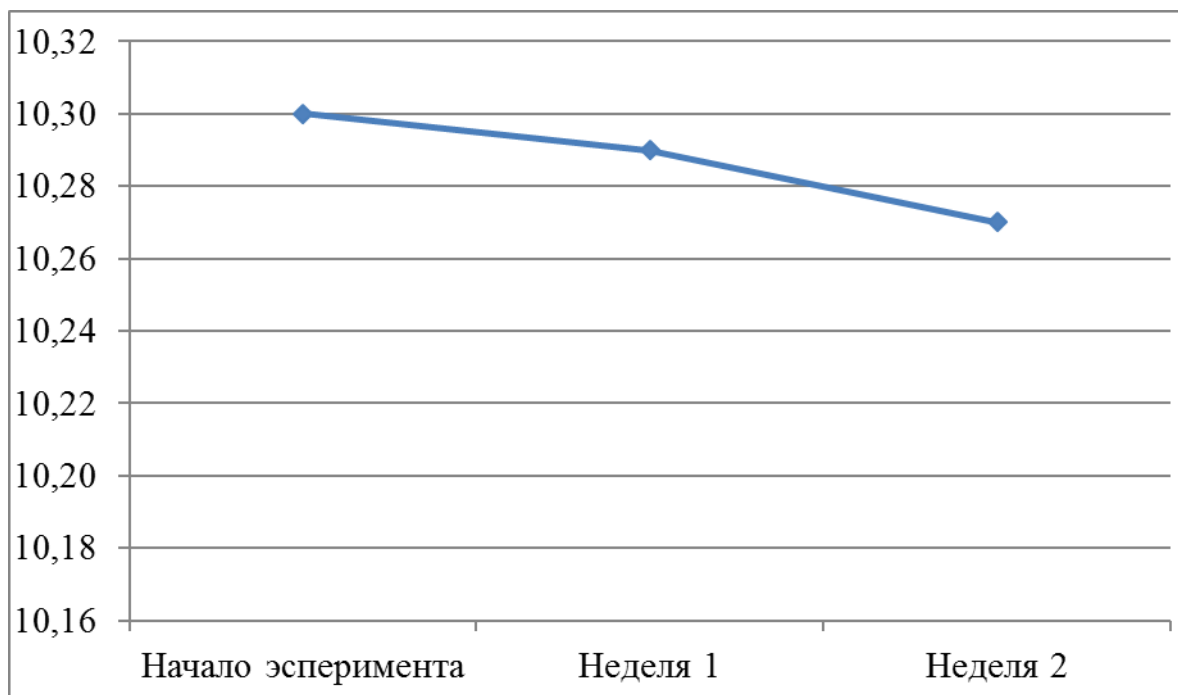


Рисунок 2 – Коррозия в дистиллированной воде

$$\vartheta = 13,03 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

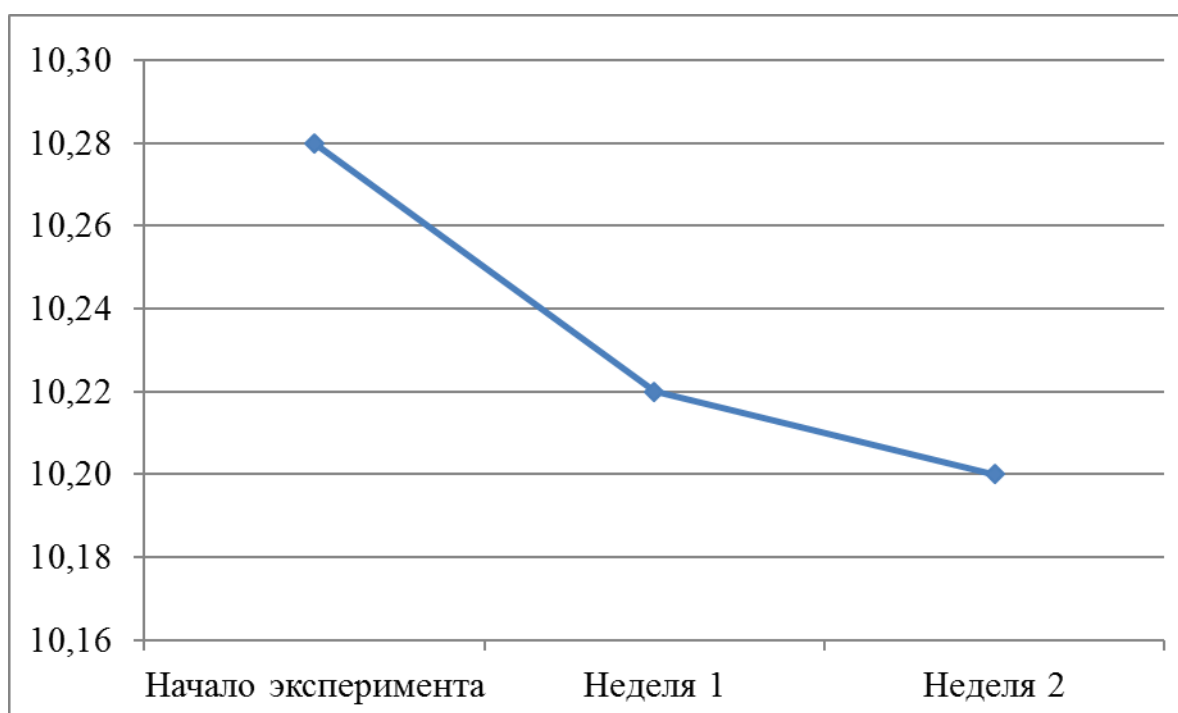


Рисунок 3 – Коррозия в 0,05N р-ре HCl

$$\vartheta = 4,88 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

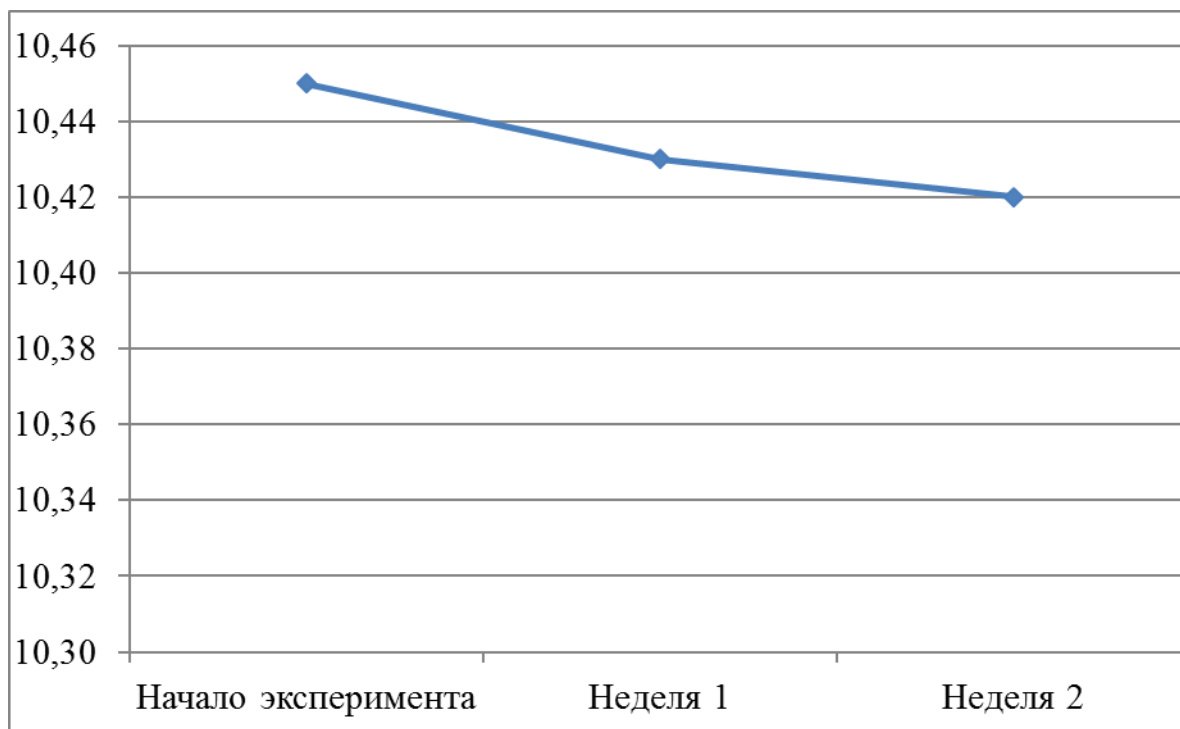


Рисунок 4 – Коррозия в 0,05Н р-ре HCl +0,1Н р-р уротропина

$$\vartheta = 26,06 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

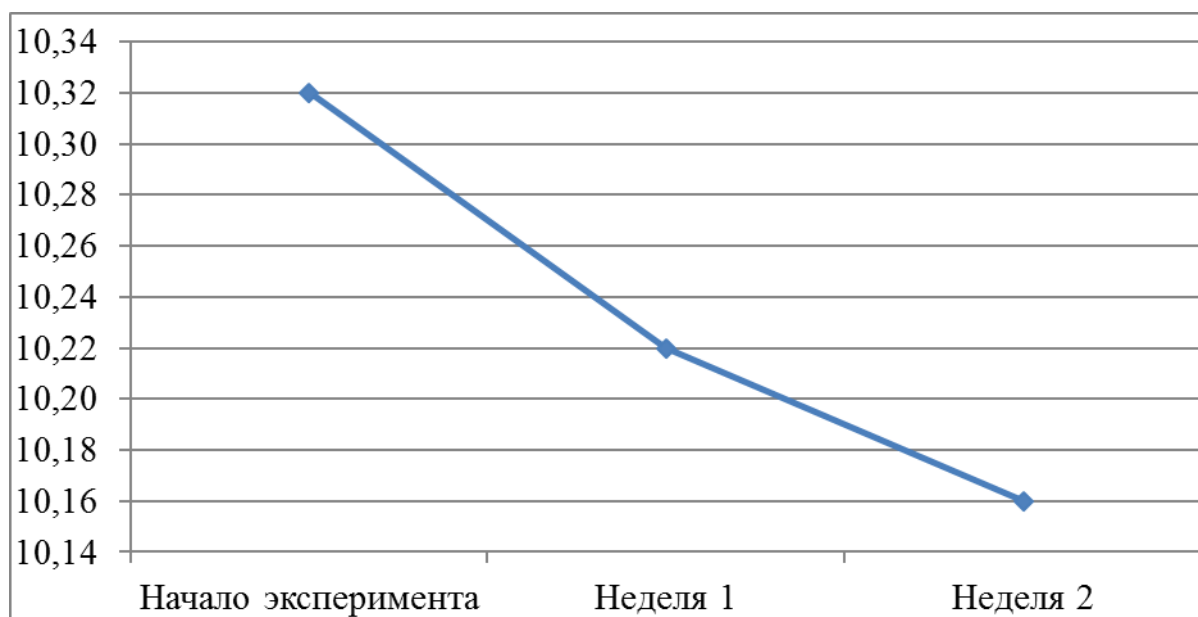


Рисунок 5 – Коррозия в 0,1Н р-ре HCl

$$j = 19,55 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

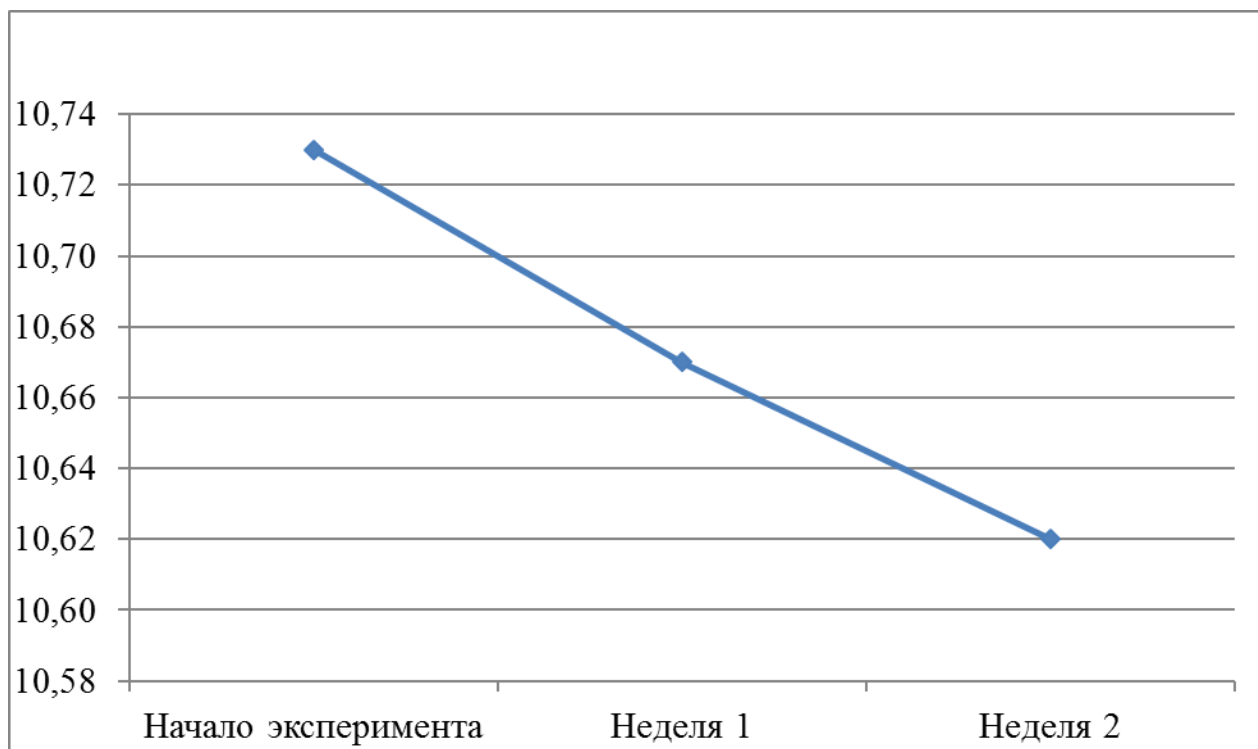


Рисунок 6 – Коррозия в 0,1N р-ре HCl + 0,1N р-р уротропина

$$j = 0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мин}$$

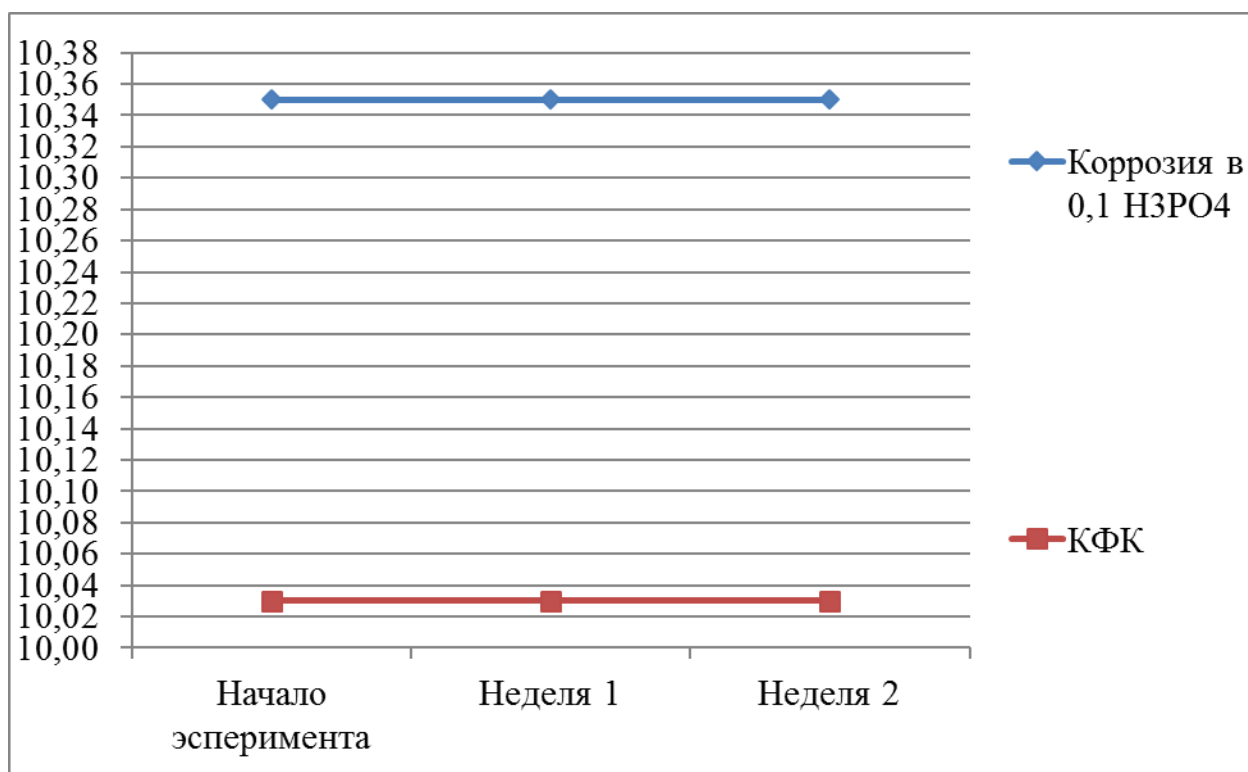


Рисунок 8 – Коррозия в 0,1N р-ре H₃PO₄ и КФК

Выводы по разделу:

1. Химическая коррозия металлов зависит от свойств химических сред, в которых она протекает.
2. Сталь марки 09Г2С сильно подвержена солянокислой коррозии.
3. Уротропин замедляет коррозию стали.
4. Наиболее слабо коррозия протекает в растворах H_3PO_4 .

4. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО БОРЬБЕ С КОРРОЗИЕЙ

При выборе средств защиты от коррозии необходимо исходить из характера самих коррозионных разрушений. Существующие методы борьбы с коррозией можно разделить на следующие группы:

- легирование (заключается в изменении природы металла);
- использование различных защитных покрытий;
- электрохимические методы защиты;
- изменение свойств среды, вызывающей коррозию;

Теперь рассмотрим указанные методы более подробно:

Легирование можно назвать довольно действенным методом борьбы с коррозией. В большинстве случаев путем легирования в состав металла вводятся специальные вещества, которые пассивируют коррозионные процессы и повышают жаропрочность металла. В качестве легирующих добавок широкое применение получили никель, хром, вольфрам и т.д.

Использование защитных покрытий металлической и неметаллической природы также является эффективным методом борьбы с коррозионными разрушениями. Металлические покрытия принято делить на катодные, когда защищаемый металл более активен, чем металл, используемый в качестве покрытия и анодные, когда защищаемый металл менее активен, чем металлическое покрытие. Наиболее эффективным считается анодное покрытие, так как в этом случае коррозии подвергается покрытие. Для защиты железа в качестве анодного покрытия может использоваться цинк и хром, а в качестве катодного – олово, никель или серебро.

К неметаллическим покрытиям относят лакокрасочные покрытия, к которым предъявляется ряд требований, таких как стойкость к высоким температурам, щелочам, кислотам и другим агрессивным средам.

Электрохимическим методам защиты является анодное и катодное протектирование, которые используются в защите подземных трубопроводов, а также конструкций постоянно находящихся в среде

электролита. Сущность протекторной защиты заключается в присоединении к защищаемому металлу другого металла имеющего большее значение электродного потенциала, что приводит к разрушению анода и сохранению катода (защищаемой конструкции).

Изменение коррозионной среды достигается путем корректировки pH, введения различных ингибиторов, деаэрацией (удалением избыточного кислорода). Механизм действия ингибиторов основан на замедлении процесса коррозии вследствие адсорбции последнего на поверхности защищаемого металла, тем самым скорость коррозионного процесса значительно падает.

Что касается коррозии рассматриваемой в работе марки стали, то экспериментально было доказано, что сталь марки 09Г2С сильно подвержена коррозии, а использование уротропина в качестве ингибитора значительно замедляет коррозионные процессы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коррозионные процессы крайне отрицательно сказываются на долговечности оборудования, а в некоторых случаях ведут к необратимым изменениям их свойств, что в свою очередь чревато экологическими авариями и значительными экономическими убытками.

В связи с вышесказанным поиск новых максимально эффективных средств, которые позволят уменьшить коррозионные потери, остается актуальным.

Невысокая скорость коррозии в водных растворах H_3PO_4 и КФК – 85 объясняется пассивацией поверхности и адсорбцией функциональных групп метилолмочевин на активных поверхностях стали.

Исследование поведения стали 09Г2С в различных средах – воде, H_3PO_4 , КФК – 85, HCl и HCl + уротропин показало, что снижение солянокислой электрохимической коррозии может быть достигнуто путём добавления ингибитора коррозии – уротропина. Это объясняется его распадом на аминокислоты, которые сорбируются на активных центрах металла и блокируют электрохимический процесс.

Полученные в ходе эксперимента результаты могут быть использованы при перевозке опасных грузов и при изготовлении технологического оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеенко, А.П., Поляков, А.Е. Коррозия и защита металлов: краткий курс лекций. – Краматорск: ДГМА, 2013. – 104 с.
2. Ажогин, Ф.Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. М., Metallurgia, 1974. 256 с.
3. Акользин, А.П. Кислородная коррозия оборудования химических производств/ А.П. Акользин, А.П. Жуков. - М.: Химия, 2002. - 240 с.: ил. - Библиогр.: с. 232-235 (122 назв.). - Предм. указ.: с. 236-240.
4. Алцыбеева, А.И., Левин, С.З. Ингибиторы коррозии металлов. Под ред. Л.И. Антропова – Л.: Химия, 2003. – 264 с. 2003.
5. Андреев, И.Н., Гильманшин, Г.Г., Межевич, Ж.В. Электрохимические технологии защиты от коррозии крупных объектов техники. Метод. указания к лабораторным работам. 2004 год. 51 стр.
6. Андреев, И.Н. Введение в коррозиологию: Учебное пособие. - Казань: Изд-во Казанского государственного технологического ун-та, 2004. - 140 с.
7. Багоцкий, В.С. Основы электрохимии. – М.: Химия, 2002.-400 с.
8. Беккерев, И.В. Металлы и сплавы – Марки, химический состав, Ульяновск: УлГТУ, 2007. Ч.2 – 630 с.
9. Бэкман, В. Катодная защита от коррозии: справочник: пер. с нем./ В. Бэкман, В. Швенк. - М.: Metallurgia, 2002. - 496 с.
10. Бекман, В. Катодная защита: справочник/ В. Бекман; пер. с нем. Е.К. Бухмана ; под ред. И.В. Стрижевского. - М.: Metallurgia, 2002. – 176.
11. Вайнман, А.Б. Предупреждение коррозии барабанных котлов высокого давления/ А. Б. Вайнман. - М.: Энергоатомиздат, 2004. – 231.
12. Волков, Б.Г. и др. Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии. Л.: Недра, 2003, 224 с.
13. Вопросы металловедения и коррозии металлов. - Тбилиси: Мецниереба, 2002. - 152с.

14. Достижения науки о коррозии и технология защиты от нее. Коррозионное растрескивание металлов / ред.: М. Фонтан, Р. Стэйл ; пер. с англ. В.Д. Калинина, П.П. Поздеева, В.В. Усовой под ред. В.С. Синявского. - М.: Металлургия, 2003. – 486.
15. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Металлургия, М.: 2002.
16. Жуков, А.П. Основы металловедения и теории коррозии: учеб. для сред. спец. учеб. заведений/ А. П. Жуков, А. И. Малахов. - М.: Высш. шк., 2002. - 166 с.
17. Зайцев, О.С. Химия. Современный краткий курс: учеб. пособие. – М.: Агар, 2014. – 416 с.
18. Защита трубопровода от коррозии: учеб. пособие для вузов/ Ф. М. Мустафин [и др.]. - СПб.: Недра, 2005 – 2007 Т. 1. - 2005. - 617 с.: цв. ил., табл., фото. - Библиогр.: с. 547.
19. Защита трубопроводов от коррозии: учеб. пособие для вузов/ Ф. М. Мустафин [и др.]. - СПб.: Недра, 2005 – 2007 Т. 2. - 2007. - 702, [1] с.: цв. ил., табл. - (Сооружение трубопроводов : СТ). - Библиогр.: с. 653-669
20. Ефимов, А.П. Химическое сопротивление материалов. – М.: Нефть и газ, 2014. – 254 с.
21. Иванов, Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах. – Л.: Металлургия, 2005. – 175 с.
22. Йовчев, М. Коррозия теплоэнергетического и ядерноэнергетического оборудования/ М. Йовчев ; пер. с болг. С. В. Цанева; под ред. П. А. Акользина. - М.: Энергоатомиздат, 2002. - 223
23. Карпенко, В.Г., Василенко, И.И. - Коррозионное растрескивание сталей. «Техника», 2006, 192 с.
24. Колесникова, А.С. Химические основы защиты транспортных сооружений от коррозии. Методическое пособие. ДГУПС, Хабаровск, 2001.
25. Коррозия: справочник : пер. с англ./ под ред. Л. Л. Шрайера. - М.: Металлургия, 2003. - 631 с.

26. Кофанова, Н.К., Коррозия и защита металлов. Уч. пособие. 2003 год. 179 с.
27. Луканина, Т. Л., Овчинникова, Т. Т., Сигаев, В. Я., Общая химия. учеб. пособие Ч.2. 2 – е изд., испр. и доп., СПб, СПбГТУРП, 2006.
28. Люблинский, Е. Я. Электрохимическая защита от коррозии/ Е. Я. Люблинский. - М.: Металлургия, 2002. – 96.
29. Малахов, А.И. Коррозия и основы гальваностегии: учебник для техникумов/ А.И. Малахов, К.М. Тютин, Т.Е. Цупак. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 2002. – 207.
30. Маршаков, И.К. Термодинамика и коррозия сплавов. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 167 с.
31. Маттссон, Э. Электрохимическая коррозия/ Э. Маттссон; пер. со швед. В. М. Новаковского, Т. Я. Сафоновой ; под ред. Я. М. Колотыркина. - М.: Металлургия, 2001. – 156 с.
32. Медведева, М.Л. Основы электрохимической коррозии и защиты оборудования при транспорте и хранении нефти и газа. Москва 2004
33. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении.- М.: Машиностроение, 2002.- 296 с.
34. Михайловский, Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты/ Ю. Н. Михайловский. - М.: Металлургия, 2003. – 101.
35. Неверов, А.С. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Неверов, Д.А. Родченко, М.И. Цырлин. - Минск : Высш.шк., 2007. - 222 с.
36. Отс, А.А. Коррозия и износ поверхностей нагрева котлов/ А. А. Отс. - М.: Энергоатомиздат, 2002. - Библиогр.: с. 261-270.
37. Петров, Л.Н. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов / АН Украины. Физ.-мех. ин-т. - Киев: Наук. думка, 2004. - 215с
38. Полак, А.Ф. и др. Антикоррозионная защита строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях, Уфа. Башкирское книжное издательство, 2003, 80 с.

39. Родников, С.Н. и др. Вопросы металловедения в гальванотехнике и коррозии: Учебное пособие. Горький: изд. ГГУ, 2006.-104 с.
40. Розенфельд, И.Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями/ И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн, К.А. - М.: Химия, 2002. – 222.
41. Рудой, В.М., Останин, Н.И., Зайков, Ю.П. Проектирование катодной защиты подземных трубопроводов: Методические указания. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. - 29 с.
42. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: Физмат- лит, 2012. – 335 с.
43. Слэндер, С.Дж. Коррозионная стойкость цинка: справочник : пер. с англ./ С.Дж. Слэндер, У.К. Бойд. - М.: Металлургия, 2005. - 200 с.
44. Структура и коррозия металлов и сплавов: атлас : справочник/ под ред. Е. А. Ульянина. - М.: Металлургия, 1989. - 399 с.
45. Сюгаев, А.В., Ломаева, С.Ф., Шуравин, А.С. и др. // Коррозия: защита, материалы. 2007. № 1. С. 2.
46. Техника борьбы с коррозией: Пер. с пол. / Р. Юхневич, В. Богданович, Е. Валашковский и др. ; Под ред. А.М. Сухотина. - Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 2005. - 224с.
47. Томашов, Н.Д. Коррозия металлов с кислородной деполяризацией – Спб.: Химия, 2014. – 456 с.
48. Туфанов, Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: справочник/ Д.Г. Туфанов. - Изд. 4-е, доп. и перераб. - М.: Металлургия, 1982. - 352 с
49. Халдеев, Г.В., Борисова, Т. Ф. Водородопроницаемость металлов и сплавов в коррозионно-электрохимических процессах. Электро-химия Т. 30. – М.: Химия, 2016. – 232 с.
50. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер с англ. Под ред Сухотина. - Л.: Химия, 2002, 456 с.

51. Улиг, Г.Г., Ревин, Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ./Под ред. А. М. Сухотина.—Л.: Химия, 1989.— Пер. изд., США, 2002. — 456 с.

52. Фаличева, А.И. Коррозия металлов и противокоррозионная защита. - Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 2004. - 111с.

53. Царьков, Г.А. Защита от коррозии оборудования в производстве химических волокон/ Г. А. Царьков. - Л.: Химия, 2005. - 212, [1] с.: граф., табл. - Библиогр.: с. 201-211.

54. Патент №2231574 – Ингибитор формальдегидной коррозии углеродистых сталей

55. Патент №2237747 Ингибитор нитратной солевой коррозии углеродистых сталей.

56. Beckman, V. Cathodic corrosion protection: guide: per. s nem./ V. Backman, W. Schwenk. - М.: Metallurgy, 2002. - 496 p

57. Cache, Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems: Per. with it. - М.: Metallurgy, 2002. - 400С.

58. Rosenfeld, I. L. Protection of metals from corrosion with paint coatings/ I. L. Rozenfel'd, F. I. Rubinshtein, and K. A. - М.: Chemistry, 2002. – 222.

59. Shluger, M. A. Corrosion and protection of metals: proc. the allowance for high schools/ M. A. Shluger. - М.: Metallurgy, 2003. - 215 p

60. Shroyer, L. L., Corrosion. Reference. Ed. by L. L. Shroyer – М.: metallurgy, 2002.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Виды коррозии металлов



Рисунок 1 – Щелевая коррозия



Рисунок 2 – Газовая коррозия



Рисунок 3 – Коррозия в неэлектролитах



Рисунок 4 – Коррозия в электролитах