

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра химии

Л.П. ДАНИЛОВСКАЯ, Р.С. КРЫМСКАЯ

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

Методические указания

Санкт-Петербург
2017

В методических указаниях приведены основные определения, термины и понятия, необходимые для изучения ингибиторов коррозии металлов. Описаны примеры использования ингибиторов в технике. Предложены для самостоятельного выполнения эксперименты, связанные с процессами ингибиторной защиты. Даны вопросы для самоконтроля изученного материала и варианты контрольных заданий.

Методические указания предназначены для студентов всех технических направлений и профилей Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

ДАНИЛОВСКАЯ
Лора Петровна

КРЫМСКАЯ
Рената Сергеевна

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

Методические указания

Редактор Т.Н. Альбова
Корректор Е.В. Шорикова

Подписано в печать 01.08.2017.. Зак. 5123. Тир. 100. Уч.-изд. л. 1,9.
Издательство СПбГМТУ. СПб., Лоцманская ул., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее простых, эффективных и недорогих методов борьбы с коррозией металлов является применение ингибиторов (от лат. *inhibitor* – удерживающий). Согласно стандарту качества ISO 8044:2015 ингибитор коррозии – химическое вещество, которое при наличии в коррозионной среде в подходящей концентрации снижает скорость коррозии без значительного изменения концентрации любого коррозионного агента.

Ингибиторы коррозии – это вещества, которые добавляют в коррозионную среду в очень небольших концентрациях. При этом они существенно (в десятки или сотни раз) замедляют коррозионный процесс.

Во многих случаях ингибиторы являются единственным возможным средством защиты от коррозии, так как другие средства применять нельзя или невыгодно. Например, в теплообменных аппаратах защитные покрытия резко ухудшают теплопроводность. А для оборудования нефтяных скважин, ввиду их недоступности, исключается электрохимическая защита. В этих случаях используют ингибиторы коррозии. Кроме того, длительное хранение техники, дальние морские и железнодорожные перевозки (особенно в районах тропического климата), запуски космических ракет, эксплуатация атомных и других типов электростанций и многое другое было бы невозможно без ингибиторов коррозии.

Для широкого использования ингибиторов коррозии и повышения эффективности этого метода в практике судостроения и судоремонта специалисты должны принимать во внимание многообразие физических условий эксплуатации объектов морской техники, химических составов коррозионных сред, механизма защитного действия ингибиторов в этих условиях и многие другие факторы.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ДЕЙСТВИЯ

Ингибиторы коррозии классифицируют на виды или типы по следующим показателям.

1. Химическая природа, т.е. состав ингибиторов. Их подразделяют на органические и неорганические. Кроме того, различают водорастворимые, масло-, спирто- и нефтерастворимые ингибиторы.

2. Механизм защитного действия ингибиторов. Он может быть связан либо с адсорбцией ингибитора, либо с образованием защитных (пассивирующих) пленок различной толщины и состава.

3. Принцип снижения скорости коррозии. В зависимости от торможения той или иной стадии коррозионного электрохимического процесса различают анодные и катодные ингибиторы, а также ингибиторы смешанного действия.

4. Состав коррозионной среды, в которой функционирует конструкция. Существуют нейтральные или кислые (водные) коррозионные среды, пленки влаги в атмосферных условиях и другие специфические среды (сероводородные, щелочные, нефтесодержащие).

Существуют также ингибиторы универсальные и обладающие селективностью действия. В последнем случае один и тот же ингибитор может оказывать на различные металлы не одинаковое, а иногда даже противоположное действие. Универсальные же ингибиторы почти одинаково эффективны по отношению как к черным, так и к цветным металлам.

Эффективность действия ингибиторов оценивается:

– коэффициентом торможения скорости коррозии γ по формуле

$$\gamma = \frac{K_0}{K_i}; \quad (1.1)$$

– степенью защиты от коррозии P

$$P = \frac{K_0 - K_i}{K_0} \cdot 100, [\%], \quad (1.2)$$

где K_0 и K_i – массовые показатели скорости коррозии в среде без ингибитора и в среде с ингибитором соответственно, K , $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Тогда

$$P = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100, [\%]; \quad (1.3)$$

$$\gamma = \frac{100}{100 - P}. \quad (1.4)$$

На эффективность действия ингибитора влияют такие свойства коррозионной среды, как ее состав, температура, величина pH и другие, поэтому защитная концентрация ингибитора $C_{заш}$ может меняться и не является постоянной величиной. Для защиты от коррозии требуются очень незначительные концентрации ингибитора $C_{заш} = 0,001\text{--}0,5\%$. Это объясняется тем, что ингибитор, как правило, не взаимодействует с коррозионной средой и существенно не изменяет ее свойства. Он взаимодействует только с поверхностью металла, которая по сравнению со всем объемом коррозионной среды является сравнительно небольшой.

Из-за сложного механизма действия ингибиторов в конкретных технологических процессах любая классификация и эффективность их действия могут оказаться условными.

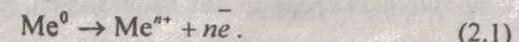
Существует обширная номенклатура рекомендуемых ингибиторов. Несмотря на многообразие имеющихся ингибиторов коррозии, работа по созданию новых не прекращается.

Ниже рассмотрена классификация ингибиторов применительно к коррозионным средам как наиболее удобная для понимания специфики защиты от коррозии объектов морской техники.

2. ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ДЛЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ СРЕД

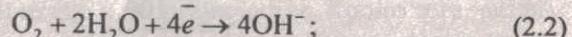
Электрохимическая коррозия на поверхности металлов протекает, как минимум, в три стадии.

1. Анодный процесс, окисление металла, можно в общем виде описать так:



2. Катодный процесс, восстановление окислителей коррозионной среды. Процесс зависит от характера среды:

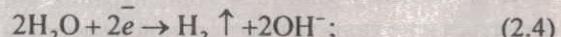
а) в нейтральных и слабощелочных средах при $\text{pH} \geq 7$ (морская, речная, водопроводная воды, атмосферные условия, некислые почвы, солевые растворы) окислителем металла является кислород O_2 , который восстанавливается по реакции



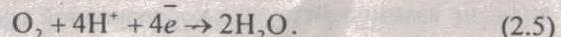
б) в кислых средах при $\text{pH} < 7$ окислителем является ион H^+ :



в) в сильно щелочных средах окислителем является вода:



г) в слабокислых средах в присутствии кислорода может протекать реакция



Таким образом, коррозия может протекать либо с поглощением кислорода (см. пункты а, г), либо с выделением водорода (см. пункты б, в).

3. Вторичные процессы образования продуктов коррозии, чаще всего гидроксидов:



Продукты коррозии довольно часто пассивируют металл, т.е. замедляют коррозию благодаря формированию на поверхности металла защитной пленки. Они являются барьером между металлом и окислителем коррозионной среды. Пленки обладают защитным свойством, если они сплошные, имеют хорошую адгезию (цепление с поверхностью металла) и химически стойкие в данной коррозионной среде.

Самый распространенный и важный пассиватор – кислород. Он может влиять на скорость коррозии в двух направлениях: с одной стороны, ускоряет коррозию как мощный окислитель, с другой стороны, иногда может пассивировать металл.

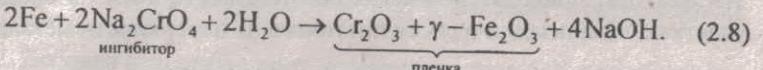
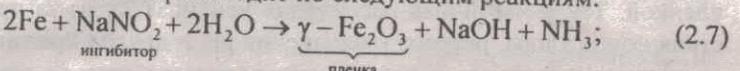
Снижение скорости коррозии в присутствие ингибиторов в коррозионной среде может происходить разными путями. В слу-

чае, когда ингибиторы замедляют анодный процесс окисления металла, их называют *анодными ингибиторами коррозии*. Другой принцип снижения скорости коррозии, когда тормозится катодный процесс восстановления окислителя, связывают с действием *катодных ингибиторов коррозии*.

2.1. Анодные ингибиторы коррозии

К анодным ингибиторам относятся вещества, обладающие окислительными свойствами по отношению к металлам (восстановителям), ими могут быть соли – нитриты (NaNO_2), хроматы (Na_2CrO_4), бихроматы ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) и др. Эти вещества, называемые *пассиваторами*, окисляют металл на анодных участках поверхности и образуют оксидные пленки очень малой толщины, порядка 0,01 микрометра. Тем самым достигается непосредственное торможение анодной реакции $\text{Fe}^0 - 2e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ перехода ионов металла в раствор и уменьшение скорости коррозии металла в целом.

Восстановление ингибиторов при защите от коррозии сплавов на основе железа происходит по следующим реакциям:



Пассивирующая пленка, как видно из реакции (2.7), состоит только из оксида железа. В случае использования хроматов (2.8) на железе образуется защитная пассивирующая пленка оксидов, состоящая из 25% Fe_2O_3 и 75% Cr_2O_3 . Такие оксидные пленки сдвигают электродный потенциал в положительную сторону и тем самым «облагораживают» металл.

Существуют также анодные ингибиторы-пленкообразователи. К ним относятся фосфаты (Na_3PO_4), щелочи (NaOH), карбонаты (Na_2CO_3) и другие соединения, не обладающие окислительными свойствами по отношению к металлам. При их использовании на поверхности металла образуются труднорастворимые соединения оксидов, гидроксидов или солей, которые и замедляют коррозию. Например, в присутствии фосфатов на поверхности железа образуется защитная пленка, состоящая из гидроксида железа, уплотненного фосфатом железа.

Механизм пассивации железа гидроксид-ионом щелочи можно показать таким образом (рис. 1):

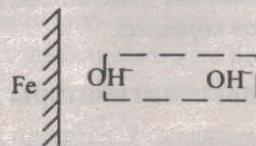
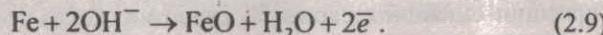


Рис. 1. Механизм пассивации железа гидроксид-ионом щелочи

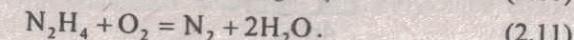
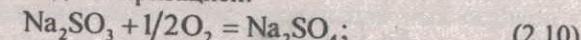
Анодные ингибиторы-пассиваторы достаточно эффективны, но их применение может быть опасным. Это происходит, когда концентрация ингибитора в коррозионной среде по каким-то причинам может оказаться меньше, чем строго определенная величина защитной концентрации. При этом из-за недостаточного количества ингибитора в среде на поверхности металла остаются активные (оголенные) анодные участки, не покрытые пассивной пленкой. Такая частичная пассивация усиливается из-за присутствия ионов хлора, резкого уменьшения pH и других причин. Все эти факторы приводят к повышению плотности тока на анодных участках, локализации и росту питтингов на поверхности металла.

2.2. Катодные ингибиторы коррозии

К катодным ингибиторам относятся, как правило, неорганические вещества: ZnSO_4 , ZnCl_2 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4 . При добавлении их в коррозионную среду образуются гидроксиды или соли, которые осаждаются на катодных участках поверхности металла (из-за повышения pH в прикатодном слое). Эти осадки экранируют собой микрокатоды и препятствуют доступу окислителей к ним из коррозионной среды. Например, сокращается поверхность работающих катодных зон, и скорость коррозии металла уменьшается (см. примеры 1 и 2 в разд. 2.3). Такие катодные ингибиторы обычно называют **экранирующими**.

Кроме того, катодными ингибиторами могут быть вещества, способные при введении в коррозионную среду замедлять коррозию за счет снижения концентрации самого участника катодного

процесса. Например, поглотители кислорода сульфит натрия Na_2SO_3 и гидразин N_2H_4 снижают скорость коррозии, если она протекает с кислородной деполяризацией:

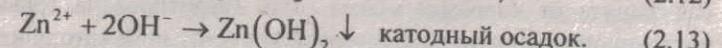
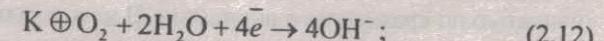


Одним из способов снижения скорости коррозии парогенераторов является деаэрация, т.е. практический полный удаление из воды растворенного кислорода.

Некоторые органические ингибиторы могут образовывать на поверхности металлов фазовые или адсорбционные пленки, затрудняющие доступ кислорода (см. пример 3 в разд. 2.3).

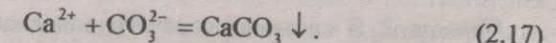
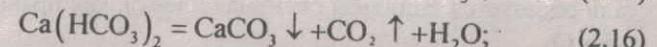
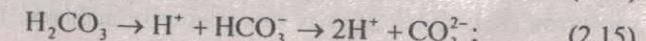
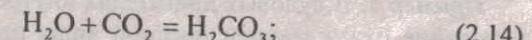
Таким образом, торможение катодной реакции коррозионного процесса может осуществляться различными путями. Рассмотрим примеры путей торможения катодной реакции коррозии.

1. Использование продуктов самой катодной реакции для ее же замедления:



Плотный осадок гидроксида цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$, выделяющийся на катодных участках поверхности металла, замедляет коррозионный процесс.

2. Добавка в жесткую воду углекислого газа CO_2 для образования осадка соли CaCO_3 :



Плотный осадок карбоната кальция CaCO_3 , осаждающийся на металлической поверхности, замедляет катодный процесс. При дозировании CO_2 необходимо поддерживать $\text{pH} > 7$ для предотвращения образования в воде растворимой соли гидрокарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

3. Образование адсорбционных слоев при введении органических ингибиторов коррозии (рис. 2):

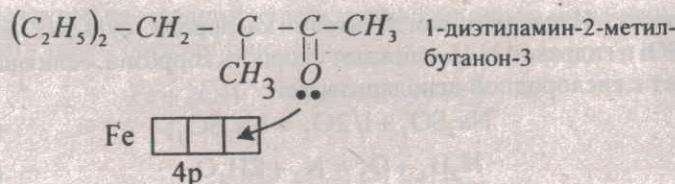


Рис. 2. Образование донорно-акцепторной связи железа с ингибитором коррозии марки ИФХАН-1

Образование донорно-акцепторной связи ингибитора с железом – это анодный эффект, а экранирование поверхности металла адсорбированным ингибитором – катодный эффект снижения скорости коррозии.

Катодные ингибиторы коррозии не приводят к ускорению коррозии металлов (в отличие от анодных ингибиторов) даже при их недостаточном содержании в коррозионной среде. Однако по защитному действию катодные ингибиторы отличаются меньшей эффективностью по сравнению с анодными. В некоторых случаях надежная защита от коррозии может быть гарантирована только при постоянной и относительно высокой концентрации катодного ингибитора, используемого совместно с анодным ингибитором.

2.3. Примеры действия ингибиторов коррозии в нейтральных средах

Пример 1. В судовых двигателях внутреннего сгорания ингибирование охлаждающей пресной воды проводится с помощью хроматов (K_2CrO_4) и других окисляющих добавок. При этом на стали образуется защитная оксидная пленка, как правило, состава $\gamma\text{-Fe}_2O_3$.

Пример 2. В системах горячего водоснабжения вода теплоэнергетических установок (ТЭЦ) ингибируется с помощью силиката натрия Na_2SiO_3 . Образуются пленки оксида и силиката железа состава $Fe_3O_4\text{-FeSiO}_3$.

Пример 3. Для защиты от коррозии конденсаторных трубок теплообменников, изготовленных из медных сплавов, в охлаждающую морскую воду периодически вводят микродобавки $FeSO_4$. На поверхности меди образуется защитная пленка $\gamma\text{-FeO(OH)}$ – лепидокрокит.

Пример 4. Природными ингибиторами являются соли $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, вызывающие жесткость воды. В результате изменения температуры, концентрации CO_2 и величины pH эти соли образуют на стенах труб пленки плотных осадков – $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$. Они обладают защитной экранирующей функцией.

Пример 5. В процессе гидродинамической очистки металлических поверхностей, например от обрастаия, в напорную струю воды необходимо дозировать ингибитор, чтобы подавить активную коррозию свежеочищенной, еще влажной поверхности металлоконструкции. Та же задача решается и при промывке изделий водой после их кислотного травления. В этих случаях используют нитритно-хроматные или хроматно-щелочные ингибирующие растворы.

Пример 6. При защите от коррозии внутренних поверхностей балластируемых танков и цистерн используют ингибиторы в сочетании с протекторами, так как при самостоятельном применении ингибиторов требуется их большой расход. При этом используют ингибитор марки ОЭДФК (оксиэтилендифосфоновая кислота) и сульфат цинка в соотношении 1:1. Концентрация 10–20 мг/л. Степень защиты 90–95%. Ингибиторы не опасны для экосистем водных бассейнов. Осадки, образующиеся на поверхности стали, обладают эффектом последействия: они предотвращают коррозию во влажной атмосфере после удаления из танков и цистерн забортной морской воды.

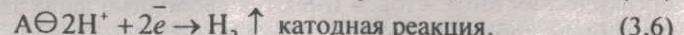
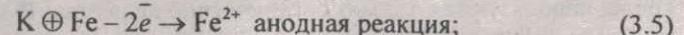
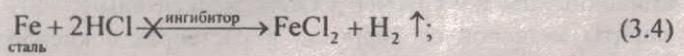
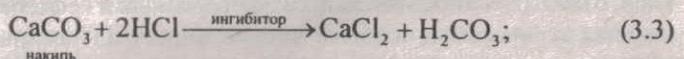
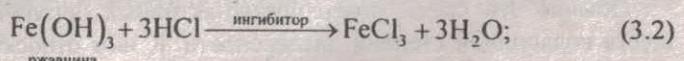
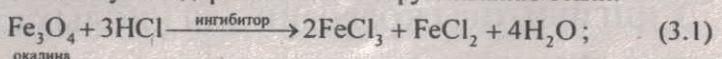
3. ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ДЛЯ КИСЛЫХ СРЕД

Обычно это смеси поверхностно-активных органических веществ коллоидной степени дисперсности. К ним относятся белки, клей, отходы лесотехнических, сахароваренных и нефтеперерабатывающих производств, а также чистые вещества – амины $R-NH_2$, аминокислоты $R-CH(NH_2)COOH$, меркаптаны $R-SH$ и др. Для защиты металлов от коррозии в растворах с кислой реакцией среды используются только органические вещества. В молекулах органических ингибиторов имеются свободные пары электронов, способные образовывать с металлами донорно-акцепторную связь.

Еще дамасские мастера для снятия окалины и ржавчины со стальных изделий использовали растворы кислот с пивными дрожжами и мукой. Уральские оружейники применяли растворы кислот с отрубями и крахмалом. Эти первые ингибиторы были малоэффективны, так как травление изделий в кислотах сопровождалось высокими непроизводительными потерями металла. В настящее время, несмотря на достигнутые успехи, не прекращается поиск высокоэффективных синтетических ингибиторов.

Рассмотрим использование органических ингибиторов коррозии при травлении стальных изделий, т.е. при химической очистке окисленной поверхности в растворе кислоты. Такая очистка проводится погружением изделий в раствор серной и соляной кислот 20%-ной концентрации. Органический ингибитор, добавленный в раствор, способен адсорбироваться только на поверхности металла, в частности на его активных катодных участках. При этом он тормозит катодную реакцию, т.е. разряд ионов водорода, а следовательно, и скорость коррозии металла в целом. В то же время ингибитор практически не адсорбируется на окисленной поверхности металла, на продуктах коррозии и накипи, поэтому загрязнения беспрепятственно растворяются в растворе кислоты.

Таким образом, под действием раствора кислоты с добавкой ингибитора окалина, ржавчина, накипь и другие загрязнения могут быть легко удалены с поверхности изделия без заметной коррозии самого металла. Благодаря этому предотвращается процесс выделения водорода (3.4), который в отсутствии ингибитора мог бы привести к опасному наводораживанию и охрупчиванию стали:



В судостроении для химического травления углеродистых сталей в качестве ингибитора широко используют уротропин $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ (гексаметилентетрамин). Уротропин применяется также в медицине как антисептик, в пищевой промышленности – в качестве добавки-консерванта, в быту – как сухой спирт.

С повышением температуры защитное действие органических ингибиторов резко снижается, так как при этом уменьшается адсорбция ингибитора поверхностью металла.

Скорость катодного процесса коррозии металла, протекающего с водородной деполяризацией ($2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$), можно снизить введением в агрессивную среду веществ, повышающих перенапряжение выделения водорода на катоде. Такими веществами являются катионы тяжелых металлов – мышьяка As^{3+} , висмута Bi^{3+} , сурьмы Sb^{3+} и др.

В табл. 3.1 приведены данные об эффективности некоторых ингибиторов, уменьшающих скорость коррозии углеродистой стали в растворах кислот в десятки и сотни раз.

Таблица 3.1
Эффективность ингибиторов кислотной коррозии стали

Коррозионная среда	Температура, °C	Марка ингибитора*	Концентрация ингибитора, %	Степень защиты Р, %
20%-ная серная кислота	50–95	ЧМ	0,1	96–52
		Катапин А	0,3	97–94
		Катапин 2	0,2	99–88
20%-ная соляная кислота	20–80	Катапин А	0,5	99–94
		БА-6	0,5	99–98

*ЧМ – тяжелые фракции хинолиновых оснований; катапин А – алкилбензилпиридинийхлорид; БА-6 – продукт конденсации бензиламина с альдегидом.

Известны и другие ингибиторы, предотвращающие кислотную коррозию основных конструкционных металлов. Так, введением в HCl небольших количеств трибутиламина или анилина можно существенно снизить коррозию алюминия и его сплавов. Для предотвращения коррозии меди в растворах кислот можно использовать карбамид.

Использование эффективных органических ингибиторов коррозии позволило транспортировать кислоты непосредственно в стальных цистернах, без стеклянных бутылей. Кроме того, ингибиторы используют при кислотной промывке котлов, труб для очистки их внутренней поверхности от накипи и ржавчины.

Сначала водорастворимые ингибиторы коррозии использовали только в замкнутых циркуляционных системах (питательная вода парогенераторов, вода для охлаждения двигателей внутреннего сгорания и др.). Ингибиторы также применяли для защиты от коррозии и при периодической замене среды (процесс травления металлов в кислотах). В таких системах можно точно поддерживать заданную защитную концентрацию ингибитора. Позже в результате разработки специальных дозаторов оказалось возможным использовать ингибиторы и для борьбы с коррозией в открытых циклах, например, в транспортных трубопроводах, в системах снабжения горячей и холодной (не питьевой) водой.

4. ИНГИБИТОРЫ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

Ингибиторы атмосферной коррозии предназначены для защиты от коррозии металлических изделий из черных и цветных металлов при эксплуатации, хранении и транспортировке в атмосферных условиях. При этом процессы коррозии протекают в тонких, невидимых глазу, слоях влаги, конденсирующихся на поверхности металла во влажном атмосферном воздухе.

По механизму защитного действия ингибиторы атмосферной коррозии можно разделить на летучие и контактные.

4.1. Летучие ингибиторы

Летучие ингибиторы применяют обычно для временной защиты ответственных механизмов и систем, для приборов и изделий сложной конфигурации, имеющих узкие щели и зазоры. Летучие ингибиторы просты при использовании, не требуют искусственного нанесения на поверхность металла, а также удаления ингибитора с поверхности металла.

Летучие ингибиторы вносят в упаковочное пространство или в замкнутый объем в количестве 10–100 г/м³. За счет самопроиз-

вольного испарения ингибиторы насыщают своими парами пространство, адсорбируются на всех участках поверхности защищаемого изделия, в том числе в труднодоступных щелях и зазорах. При их применении непосредственный контакт ингибитора и металла не обязателен. Это объясняется тем, что порошок или гранула ингибитора обладает летучестью, т.е. невысоким, но достаточным давлением паров. Ингибитор способен самопроизвольно испаряться и полностью занимать объем емкости, где находится изделие. Часть молекул ингибитора проникает в пленку влаги, попадает на поверхность металла и адсорбируется на ней. Образуется защитный слой, благодаря которому снижается скорость коррозии металла.

К недостаткам летучих ингибиторов относится необходимость герметизации объемов (емкостей) с защищаемыми изделиями для предотвращения улетучивания ингибитора. Кроме того, существует возможность усиления коррозии некоторых цветных металлов.

В качестве летучих ингибиторов используют органические соли аминов, чаще всего нитрит дициклогексиламина (НДА). Это кристаллическое вещество белого цвета, почти без запаха, оно относится к веществам 2-го класса опасности (см. разд. 9). НДА – эффективный ингибитор коррозии углеродистых сталей (см. рис. 3).

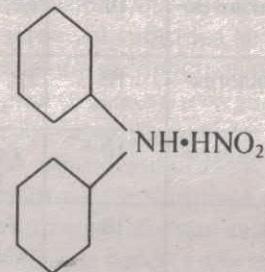


Рис. 3. Структурная формула нитрит дициклогексиламина

Давление паров НДА при 25°C составляет 10⁻⁴ Па. Одним граммом этого ингибитора можно насытить ≈550 м³ воздуха и сделать его малоагрессивным по отношению к стали. Однако при

наличии контакта со сплавами на основе Zn, Mg, Cd, Cu, т.е. с цветными металлами, НДА сильно ускоряет их коррозию.

Селективность действия ингибиторов особенно важно учитывать, когда конструкции состоят из разнородных металлов. Так, например, на внутренней поверхности теплообменников находятся одновременно требующие защиты бронзовая крышка, стальной корпус и латунные трубы. В некоторых случаях удается применить универсальный, т.е. одновременно снижающий скорость коррозии черных и цветных металлов, ингибитор. Чаще всего, однако, эффективность защиты разнородных металлоконструкций достигается подбором смеси различных селективных и универсальных ингибиторов.

Характеристики рассмотренных выше и других используемых летучих ингибиторов – состав, давление пара, защищаемые от коррозии металлы, а также срок защитного действия – приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Важнейшие характеристики основных летучих ингибиторов

Марка ингибитора	Химический состав	Давление паров, Па, при $T = 298$ К	Защищаемые металлы	Срок защитного действия
НДА	Нитрит дициклогексиламина	10^{-4}	Fe, Al, Ni, Cr	25 и более лет
КЦА	Карбонат циклогексиламина	10^{-1}	Fe, Al, Ni, Cr	2–3 года
ХЦА	Хромат циклогексиламина	10^{-6}	Fe, Al, Ni, Cu, Zn	До 10 лет
ИФХАН-1	Аминокетон	10^{-1}	Fe, Al, Ni, Cu, Ag, Sn, Pb и сплавы Cd	2–3 года

Летучие ингибиторы могут применяться в виде растворов в органических растворителях, вводиться в масла и смазки в виде пропитанной упаковочной бумаги – ингибитированной бумаги или силикагеля (линасилей).

Для защиты замкнутых воздушных отсеков судов или судовых трубопроводов в период консервации удобнее использовать методы напыления порошков ингибиторов в защищаемые объемы.

Для защиты сложных корабельных приборов в период консервации применяют линасили или сформованные ингибиторы (гранулы, таблетки). При этом обязательна изоляция приборов от окружающей среды.

Зашиту внутренних поверхностей двойных отсеков бортов и днищ лихтеров можно осуществлять с применением летучего ингибитора НДА. Таблетированный ингибитор в специальной перфорированной упаковке укрепляют на внутренней поверхности стального отсека. Через отверстия упаковки НДА испаряется и самопроизвольно заполняет объем отсека. Исходная защитная концентрация ингибитора составляет $8 \text{ г}/\text{м}^3$. Длительность защиты – до 10 лет.

4.2. Контактные (нелетучие) ингибиторы

Контактные ингибиторы иначе называют нелетучими ингибиторами. При их применении для защиты от коррозии необходим контакт, т.е. присутствие ингибитора хотя бы на части поверхности металла. Постепенно распространяясь, он покрывает собой всю поверхность металлического изделия.

Контактные ингибиторы применяют для консервации изделий *простой формы* при межоперационном хранении и транспортировке. К числу контактных ингибиторов относятся: нитрит натрия и композиции на его основе; хромат калия; М-1, М-2, МСДА-1 и МСДА-2, представляющие собой соли жирных кислот ди- и циклогексиламина. Например, изделия после пассивации металла путем погружения в горячий ~30%-ный раствор нитрита натрия NaNO_2 заворачивают в упаковочную бумагу, смоченную 10–15%-ным раствором NaNO_2 , а затем в сухую парафинированную бумагу.

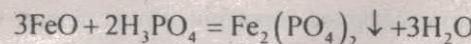
Зашиту от атмосферной коррозии осуществляют также с помощью смазок и масел, содержащих ингибиторы коррозии. Идея введения ингибиторов на основе смазок и масел заключается в том,

что влага, которая проникает в смазку из воздуха, растворяет ингибитор и на поверхности металла возникает пленка ингибированной воды. Поэтому в составах консервационных масел и смазок присутствуют противокоррозионные добавки (присадки), которыми являются водо- и маслорастворимые ингибиторы. Подобные присадки добавляют в рабочие масла на период эксплуатации оборудования. Ингибированные масла уменьшают износ поршней двигателей и предохраняют их от коррозионного разрушения.

Для повышения защитных свойств в состав мягких и твердых съемных полимерных пленок также вводят ингибиторы коррозии. Такие ингибиторы должны хорошо растворяться в углеводородных средах, адсорбироваться поверхностью металла при $pH \approx 7$ и гидрофобизировать его поверхность, т.е. делать ее несмачиваемой водой. По составу эти ингибиторы – органические амины, а также различные продукты окисления нефти.

Применение ингибиторов в составе лакокрасочных покрытий (ЛКП) позволяет продлить срок их службы. Существует ряд ЛКП, сохраняющих свои защитные свойства и после повреждения целостности покрытия. Эти покрытия содержат в своем составе пигменты – ингибиторы коррозии. Наиболее эффективными из них являются свинцовый сурик Pb_3O_4 (ортоплюмбат свинца Pb_2PbO_4) и хромат цинка. Такие краски используют для создания первого слоя покрытия или грунта. Грунт обеспечивает прочную адгезию (сцепление) металла с последующими слоями краски и в значительной степени, – анткоррозионную защиту за счет пигментов-ингибиторов.

При подготовке поверхностей труднодоступных участков судовых конструкций к окрашиванию невозможно полностью удалить продукты коррозии. В этом случае целесообразно применять модификаторы (преобразователи) ржавчины (МР). Такие много компонентные составы нейтрализуют остатки ржавчины толщиной не более 50–100 мкм. Одним из основных компонентов МР является ингибитор коррозии – ортофосфорная кислота, превращающая ржавчину в плотную пленку, обладающую хорошей адгезией к металлической поверхности. При этом протекает реакция типа



и образуется защитная пленка, состоящая, в основном, из солей фосфатов железа.

Для снижения скорости коррозии конструкций, подверженных воздействию влажного атмосферного воздуха, применяют метод снижения агрессивности атмосферы. При этом используют статическое осушение воздуха силикагелем. Динамическое осушение создается при продувке защищаемого от коррозии объема осущенным воздухом с помощью компрессора. Обезвоженная такими способами атмосфера обладает ингибирующими свойствами.

В судостроении для защиты газовоздушной зоны танков нефтеналивных судов используют метод, основанный на заполнении этой зоны инертными газами (N_2 , CO_2 и др.). На танкерах экономически предпочтительны системы инертных газов, где их устанавливают, чтобы обеспечить пожаро- и взрывобезопасность. Под инертными газами подразумеваются очищенные и осущенные продукты сгорания топлива на судах, отходящие от котельных и двигателей внутреннего сгорания. Для получения инертных газов могут быть также использованы автономные газогенераторы, которые позволяют получать газы, практически не содержащие SO_2 при концентрации $O_2 < 1\%$. Чтобы предотвратить попадание воздуха в танки и цистерны, в них создается избыточное давление.

Эффективность ингибиторов атмосферной коррозии состоит в том, что:

- увеличиваются сроки хранения изделий с одного года до 5 (10) лет;
- уменьшается трудоемкость затрат на консервацию примерно в 50 раз;
- снижается стоимость консервационных материалов в 8–10 раз.

В настоящее время известны тысячи веществ, которые уменьшают скорость коррозии металлов. Однако на практике используют далеко не все вещества. Это обусловлено жесткими требованиями к ингибиторам:

- соответствие санитарно-техническим нормам и отсутствие неприятного запаха;
- минимальная токсичность, такая, чтобы присутствие ингибитора в сбросах не загрязняло бы окружающую среду;

- высокая стабильность и устойчивость при перепадах температур;
- минимальные защитные концентрации (до 0,5 %);
- изготовление из дешевого и доступного сырья.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Оборудование, материалы, реактивы

Штативы с пробирками.

Капельница с реагентом ($K_3[Fe(CN)_6]$).

Образцы металлов Zn, Al.

Прутки медные, стальные.

Уротропин, баночка из темного стекла с порошком со шпателем, растворы уротропина.

Мочевина, баночка из темного стекла с порошком со шпателем.

Разбавленный раствор соляной кислоты.

Разбавленный раствор азотной кислоты.

Наждачная и фильтровальная бумага.

Описание опытов

Опыт 1. Изучение влияния уротропина на скорость коррозии стали в растворе соляной кислоты.

В две пробирки налить (на $\frac{1}{4}$ объема) раствор соляной кислоты. В одну из пробирок поместить на кончике шпателя уротропин. Добавить в обе пробирки по 3 капли индикатора – раствора ферроцианида калия $K_3[Fe(CN)_6]$. Зачистить два стальных прутка от ржавчины наждачной бумагой, после чего протереть их фильтровальной бумагой. После того как уротропин растворится, в каждую пробирку поместить по стальному прутку. Через 3–5 минут зафиксировать и объяснить наблюдаемые явления.

1. Написать уравнения реакций, протекающих в обеих пробирках.
2. Оценить величину концентрации уротропина в растворе соляной кислоты.
3. Можно ли назвать уротропин ингибитором коррозии?
4. К какому типу ингибиторов относится уротропин? Объяснить механизм его действия.

Опыт 2. Влияние мочевины на скорость коррозии меди в разбавленном растворе азотной кислоты.

В вытяжном шкафу в две пробирки налить по 2 мл раствора азотной кислоты HNO_3 , разбавленной в соотношении 1:3. В одну пробирку добавить на кончике шпателя мочевину, а затем в каждую пробирку опустить предварительно зачищенные медные прутки.

1. В какой из пробирок появится голубое окрашивание раствора? Почему? Ответ обосновать.

2. Составить уравнение реакции взаимодействия меди с разбавленной азотной кислотой, в том числе написать уравнения окислительно-восстановительного баланса.

3. Оценить величину концентрации мочевины в растворе кислоты. Можно ли назвать мочевину ингибитором коррозии?

4. Объяснить механизм защитного действия мочевины при кислотной коррозии меди.

Для справки: мочевина – CH_4N_2O , молярная масса 60,06 г/моль, белые кристаллы без запаха, плотность 1,32 г/см³ (рис. 4).

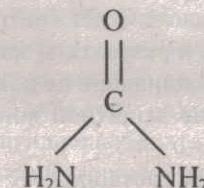


Рис. 4. Структурная формула мочевины

Опыт 3. Избирательность (селективность) действия ингибитора коррозии

В три пробирки налить по 1 мл раствора HCl . Добавить в каждую пробирку на кончике шпателя уротропин. В две пробирки по возможности одновременно поместить образцы Zn и Al. В третью пробирку добавить 3 капли раствора индикатора на ионы железа ($K_3[Fe(CN)_6]$) и поместить тщательно зачищенный стальной пруток.

1. Описать наблюдаемые явления. Составить уравнения происходящих реакций.

2. Те же три пробирки с металлами и кислотой поместить в стакан с горячей водой. Отметить происходящие изменения.

Как влияет температура на скорость коррозии металлов?

Эффективность действия ингибитора с ростом температуры:

- повышается;
- понижается;
- не изменяется.

Ответ обоснуйте.

3. Для каких металлов уротропин является эффективным ингибитором? Каким ингибитором является уротропин – универсальным или селективным?

Опыт 4. Определение величины защитной концентрации ингибитора $C_{заш}$.

В четыре пробирки налить по 4 мл раствора соляной кислоты и в каждую из них добавить по 3 капли раствора индикатора $K_3[Fe(CN)_6]$. В пробирки 2, 3, 4 добавить по 1 мл раствора уротропина. Концентрации растворов составляют 0,5; 0,05 и 0,005% соответственно. В каждую пробирку опустить по одному тщательно защищенному стальному прутку. При этом первая пробирка без раствора уротропина в кислоте будет контрольной.

Наблюдаемые явления и результаты записать в табл. 5.1. В какой из пробирок синее окрашивание не появляется?

Изменится ли величина защитной концентрации ингибитора $C_{заш}$, если:

- повысить температуру раствора;
- увеличить концентрацию раствора кислоты?

Таблица 5.1

Влияние концентрации ингибитора на скорость коррозии стали

№ п/п	Концентрация ингибитора, %	Наблюдаемые явления	Вывод
1	0	Синее окрашивание	Ингибирование не наблюдается
2	0,5		
3	0,05		
4	0,005		

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Можно ли назвать ингибитором любое вещество, снижающее скорость коррозии?

2. Почему защитные концентрации ингибиторов незначительны?

3. Назовите области техники, где ингибиторы являются единственным возможным средством защиты от коррозии.

4. Какие параметры позволяют оценить эффективность действия ингибитора коррозии?

5. Назовите возможные области применения ингибиторов на судах.

6. Можно ли использовать ингибиторы для защиты от коррозии наружной поверхности корпуса судна?

7. Объясните механизм снижения скорости коррозии стали при использовании нитрита натрия со щелочью (например, гидроксидом натрия) для защиты труб парогенераторов.

8. Для защиты от коррозии внутренней поверхности балластируемых танков судов используют водорастворимые ингибиторы коррозии. Почему такие ингибиторы должны быть дешевыми, не токсичными, взрывопожаробезопасными?

9. Некоторые грунтовые жесткие воды обладают низкой коррозионной активностью. Такие воды содержат в своем составе значительное количество дигидрокарбоната кальция $Ca(HCO_3)_2$. Его называют природным ингибитором. Чем объясняется защитное действие такого ингибитора при отсутствии избытка CO_2 ?

10. Охладительные системы ДВС включают в себя детали из стали, алюминия, цинка, латуни, чугуна, олова. Предложите состав ингибиторов, которые при растворении в охлаждающей воде обеспечивают защиту от коррозии всех контактирующих металлов:

- универсальный ингибитор;
- смесь селективных ингибиторов;
- смесь селективных и универсальных ингибиторов.

11. Приведите примеры использования контактных и летучих ингибиторов атмосферной коррозии.

12. Какой из летучих ингибиторов коррозии имеет максимально давление паров и является универсальным?

13. В чем состоит эффективность ингибиторов атмосферной коррозии?

14. В чем заключается основная причина защитного действия анодных ингибиторов?

15. Назовите пути снижения скорости катодной реакции процессов коррозии в нейтральных средах при применении ингибиторов.

16. Объясните, как влияет температура на защитное действие ингибитора при кислотном травлении стали.

17. В чем состоят преимущества и недостатки применения ингибиторов перед другими методами и средствами защиты от коррозии?

7. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Вариант 1

1. Предложите правильное окончание фразы: «Ингибиторами называют вещества, введение которых в коррозионную среду...»:

- а) вызывает полное подавление коррозионных процессов;
- б) вызывает незначительное уменьшение скорости коррозии;
- в) вызывает резкое уменьшение скорости коррозии;
- г) в незначительном количестве вызывает резкое уменьшение скорости коррозии;
- д) в произвольном количестве вызывает полное подавление процессов коррозии.

2. При очистке внутренней поверхности парового котла от накипи и продуктов коррозии используют прокачку раствором, содержащим ингибитор. Укажите pH раствора (больше или меньше 7) и тип ингибитора. Приведите уравнения реакций, протекающих при травлении стали.

3. При длительном хранении стальных деталей за счет применения смазки, содержащей ингибитор, обеспечивается степень защиты от коррозии $P = 95\%$. Рассчитайте коэффициент торможения скорости коррозии.

Вариант 2

1. Какой тип ингибиторов требует герметизации изделия от окружающей среды? Приведите пример использования такого ингибитора для конструкций судов:

- а) ингибитор кислотной коррозии (например, уротропин);
- б) ингибитор коррозии для нейтральных сред (например, нитрит натрия);

- в) летучие ингибиторы атмосферной коррозии;
- г) контактный ингибитор атмосферной коррозии;
- д) все вышеуказанные типы ингибиторов.

Укажите характеристики метода: конструкции судов, марка ингибитора, защитная концентрация, длительность действия защиты.

2. Можно ли использовать раствор Na_2SiO_3 в качестве ингибитора для защиты от коррозии:

- систем снабжения питьевой водой;
- теплоэнергентралей;
- балластируемых танков?

Назовите состав защитной пленки, образующейся на выбранном объекте защиты.

3. Стальные детали перед хромированием погрузили в раствор кислоты, содержащей ингибитор. Степень снижения скорости коррозии $P = 85\%$. Во сколько раз скорость коррозии стали в кислоте с ингибитором меньше скорости коррозии без ингибитора. Рассчитайте коэффициент торможения скорости коррозии.

Вариант 3

1. При транспортировке или длительном хранении металлических изделий сложной формы, выполненных из разнородных металлов, наиболее эффективным способом защиты от атмосферной коррозии является применение:

- а) ингибитора коррозии для нейтральных сред;
- б) контактного ингибитора коррозии, введенного в жировую смазку;
- в) летучего ингибитора селективного действия, например, НДА;
- г) летучего ингибитора универсального действия, например, ИФХАН;
- д) летучего ингибитора универсального действия в сочетании с изолирующим экраном из полиэтиленовой пленки.

Объясните механизм выбранного способа защиты.

2. Водопроводная система подвержена попеременному воздействию «мягкой» и «жесткой» воды. Какая из этих вод содержит природный ингибитор и поэтому менее коррозионно-агрессивна? Проявляется ли защитное действие природного ингибитора в кислой среде?

3. Для снятия продуктов коррозии с образцов, прошедших коррозионные испытания, образцы поместили в соляную кислоту, содержащую ингибитор. Соотношение скоростей коррозии в кислоте с добавкой и без добавки ингибитора составляет 0,02. Рассчитайте степень защиты от коррозии, коэффициент торможения скорости коррозии.

Вариант 4

1. Для защиты от коррозии внутренних поверхностей отсеков двойных бортов и днищ судов используют летучий ингибитор коррозии селективного действия НДА. Какие технологические операции необходимы при этом:

- а) периодическое распыление ингибитора;
- б) герметизация отсека;
- в) фиксация на поверхности отсека таблеток летучего ингибитора в перфорированной упаковке;
- г) вакуумирование отсека;
- д) предварительная тщательная очистка внутренней поверхности отсеков от продуктов коррозии.

Варианты ответов:

- а) 1,1+1,5; б) 1,4+1,5; в) 1,1+1,2; г) 1,2+1,3; д) 1,3+1,5.

Объясните механизм действия летучих ингибиторов коррозии.

2. Можно ли использовать ингибиторы коррозии в сочетании с:

- а) металлическими покрытиями;
- б) жировой смазкой;
- в) легирующими добавками в металлургическом производстве?

К какому классу или типу относится такой ингибитор?

3. Для защиты от коррозии оборудования теплоэнергоцентралей используют растворы силикатов. Рассчитайте, какой коэффициент торможения скорости коррозии обеспечивает ингибитор, если степень защиты составляет 80%.

Вариант 5

1. Для защиты от коррозии внутренней поверхности балластируемых танков судов можно использовать ингибиторы коррозии в сочетании с протекторами. Какие требования должны предъявляться к ингибиторам при этом:

- а) низкая стоимость и нетоксичность;
- б) взрывопожаробезопасность, масло или водорастворимость (после слива балласта);
- в) высокая эффективность при суточных перепадах температур;
- г) все требования, перечисленные выше.

Объясните механизм защитного действия ингибиторов. Какие составы ингибиторов используют при этом?

2. При консервации парового котла наряду с осушкой воздуха в котел вводят и ингибитор. Назовите тип ингибитора и определите, нужна ли герметизация котла.

3. Перед оцинковкой стальные трубы подвергают травлению в растворе кислоты, содержащей ингибитор. Коэффициент торможения коррозии составляет 10. Рассчитайте степень защиты от коррозии.

Вариант 6

1. Широкое использование ингибиторов при кислотном травлении стальных изделий объясняется следующими факторами:

- а) активным растворением металла в поверхностном слое;
- б) активным растворением ржавчины и окалины;
- в) существенным снижением скорости растворения металла;
- г) повышением скорости наводораживания стали;
- д) повышением расхода кислоты.

Варианты ответов:

- а) 1,1+1,2; б) 1,3+1,4; в) 1,3+1,5; г) 1,2+1,4; д) 1,2+1,3.

Приведите уравнение реакции, объясняющей наводораживание стали при кислотном травлении без ингибитора коррозии.

2. Можно ли использовать ингибиторы коррозии для систем охлаждения судовых двигателей, изготовленных из разнородных металлов? Какие требования следует учитывать при этом?

3. Летучий ингибитор, помещаемый внутрь отсеков двойного дна судна, обеспечивает степень защиты от коррозии 80%. Рассчитайте соотношение скоростей коррозии при наличии и отсутствии ингибитора, коэффициент торможения скорости коррозии.

Вариант 7

1. При транспортировке или длительном хранении стальных деталей несложной формы наиболее простым и эффективным способом защиты от атмосферной коррозии является применение:

а) летучего ингибитора универсального действия, например ИФХАН;

б) летучего ингибитора селективного действия, например НДА;

в) контактного ингибитора, например, NaNO_2 , введенного в жировую смазку;

г) летучего ингибитора селективного действия совместно с изолирующим экраном из полиэтиленовой пленки;

д) ингибитора кислотной коррозии.

Назовите факторы эффективности и требования, предъявляемые к ингибиторам атмосферной коррозии.

2. Можно ли использовать водорастворимые ингибиторы для защиты от коррозии:

а) наружной поверхности корпуса судна;

б) внутренней поверхности балластируемых танков;

в) внутренней поверхности грузовых танков.

Ответ обоснуйте.

3. Стальные детали, покрытые окалиной, перед хромированием поместили в раствор соляной кислоты, содержащей ингибитор. Коэффициент торможения составляет при этом 20. Какую степень защиты от коррозии обеспечивает ингибитор коррозии?

Вариант 8

1. Какой тип ингибитора можно использовать для введения в котловую воду судового парогенератора?

а) ингибитор кислотной коррозии, например, уротропин;

б) контактный ингибитор атмосферной коррозии;

в) ингибитор коррозии для нейтральных или слабощелочных сред, например, нитрит натрия;

г) летучий ингибитор атмосферной коррозии;

д) все ингибиторы, перечисленные выше.

Объясните принцип снижения скорости коррозии в ингибираванной котловой воде.

2. Приведите пример использования ингибитора кислотной коррозии в цехе химической очистки судоремонтного завода. Составьте уравнения химических реакций, протекающих при этом.

3. При хранении и транспортировке стальных изделий используют контактный ингибитор атмосферной коррозии. Рассчитайте коэффициент торможения скорости коррозии стали, если степень защиты составляет 90%.

Вариант 9

1. Можно ли использовать ингибиторы коррозии для защиты подводной части корпусов судов:

а) да;

б) нет;

в) да, в составе лакокрасочного противокоррозионного покрытия;

г) да, в сочетании с противообрастающим покрытием;

д) да, в сочетании с электрохимической защитой.

Ответ обоснуйте.

2. Приведите пример использования летучего ингибитора для снижения скорости коррозии конструкции,ключающей детали из меди, железа, кадмия. Назовите состав ингибитора, давление пара, срок защиты.

3. Для удаления продуктов коррозии и накипи в системах парогенераторов осуществляют прокачку раствором, содержащим соляную кислоту и ингибитор. Рассчитайте степень защиты от коррозии и коэффициент торможения скорости коррозии, если скорость коррозии стали с ингибитором в 5 раз меньше скорости коррозии без ингибитора.

Вариант 10

1. Приведите примеры анодных ингибиторов. В чем заключается принцип их действия?

2. Приведите примеры использования ингибитора кислотной

коррозии при химическом травлении стальных изделий. Приведите уравнения химических реакций, укажите марку и защитную концентрацию ингибитора.

3. При хранении и транспортировке изделий, выполненных из разнородных металлов, используют летучий ингибитор универсального действия. Степень защиты при этом составляет 95%. Расчитайте коэффициент торможения скорости коррозии.

8. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1. При всех работах необходимо соблюдать максимальную осторожность, быть внимательным, не отвлекаться на посторонние разговоры. Невнимательность, незнание свойств веществ и несоблюдение правил пользования оборудованием может повлечь за собой несчастный случай.

2. При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать полную чистоту на рабочих столах.

3. Каждый студент по окончании работы обязан привести в порядок свое рабочее место.

4. Перед работой необходимо ознакомиться с методическим описанием опыта, продумать его практическое выполнение.

5. При проведении опытов надо брать только то количество вещества, которое рекомендуется в описании работы.

6. При проведении реакции отверстия пробирки или сосуда нужно направлять в сторону от себя и от соседей.

7. Если брызги кислоты или щелочи попадут на лицо или руки, необходимо сразу же смыть их под струей воды.

8. После пользования реагентом склянку необходимо закрыть и поставить на место.

9. Нюхать любые вещества в лаборатории нужно осторожно, направляя к себе пары или газ движением руки, не наклоняясь над сосудом.

10. Студент обязан выполнять только те работы, которые предусмотрены в методических указаниях.

11. Нельзя зажигать спиртовку путем наклона к другой горящей спиртовке.

12. После работы нужно привести в порядок свое рабочее место, поставить реактивы и оборудование на место; вымыть с мылом руки.

9. ТОКСИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ

Все химические вещества согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 и ГОСТ 12.1.007-76 делятся на четыре класса опасности по уровню токсичности и их воздействию на живые организмы, в частности на людей и животных. Класс опасности зависит от предельно-допустимой концентрации ПДК.

1-й класс опасности – это чрезвычайно опасные вещества, ПДК которых составляет менее 0,1 мг/кг.

2-й класс опасности – это высокоопасные вещества, для них $0,1 \text{ мг/кг} \leq \text{ПДК} < 1 \text{ мг/кг}$.

3-й класс опасности – это умеренно опасные вещества, для которых $1 \text{ мг/кг} \leq \text{ПДК} \leq 10 \text{ мг/кг}$.

4-й класс опасности – это вещества малоопасные, ПДК которых более 10 мг/кг.

ПДК – утвержденный в законодательном порядке санитарно-гигиенический норматив. Под ПДК понимается такая максимальная концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, установленных современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Ингибиторы коррозии в большинстве своем токсичны для человека. Токсичность можно оценить как ПДК ингибитора в воздухе помещений, где применяется ингибитор и где ингибитор может переходить в какой-либо концентрации в воздушное пространство (воздух рабочей зоны). Помещения, где готовят ингибирующее покрытие, должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией и защищены от попадания и действия прямых солнечных лучей (тент, матовое стекло, тень и т.п.).

При подготовке к выполнению работ по нанесению ингибитора ответственный за выполнение работ бригадир или мастер обязан ознакомиться с условиями их выполнения, определить пути и мероприятия для эвакуации людей в случае аварийной ситуации.

Согласно Приказу Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 16 февраля 2009 г. № 46н производство синтетических пиридиновых соединений и ингибиторов коррозии входит в перечень производств, профессий и должностей, с особо вредными условиями труда.

С точки зрения охраны окружающей среды существует классификация отходов согласно их степени опасности для окружающей среды. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» определяет пять таких классов опасности отходов для окружающей среды, причем V класс опасности для окружающей среды относится к отходам практически неопасным.

Почти все отработанные ингибиторы коррозии являются опасными отходами для окружающей среды. Отработки органических ингибиторов коррозии в основном относятся к III–IV классам опасности для окружающей среды. Отходы применения неорганических ингибиторов коррозии в основном относятся к I–II классам опасности для окружающей среды. В федеральном классификационном каталоге отходов и базе данных отходов содержатся отходы: упаковочные материалы (полиэтилен, полипропилен) и тары из черных металлов, утратившие свои потребительские свойства после использования по назначению находившихся в них ингибиторов коррозии, имеющие III–IV класс опасности для окружающей среды. Согласно природоохранному законодательству запрещается сброс в водные объекты и захоронение в них отходов производства и потребления, т.е. требуется утилизация данных отходов специализированными лицензированными предприятиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алтыбеева А.И., Левин С.З. Ингибиторы коррозии металлов (справочник) / Под ред. проф. Л.И. Антропова. – М.: Химия, 1968.
2. Виноградов П.А. Консервация изделий машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1986.
3. Григорьева Н.Д., Даниловская Л.П., Таланова Э.И. Коррозия металлов и судовых конструкций: метод. указания к лабораторным работам. – СПб.: ИЦ СПБГМТУ, 2005.
4. Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря (Хельсинкская конвенция) / Хельсинки, 9 апреля 1992 г.
5. Коррозия и защита судов: справочник / Под ред. Е.Я. Люблинского, В.Д. Пирогова. – Л.: Судостроение, 1987.
6. Коррозия металлов и сплавов. Основные условия и определения. – [Режим доступа]: <https://www.iso.org/standard/66233.html>, свободный].
7. Люблинский Е.Я. Что нужно знать о коррозии. – Л.: Лениздат, 1980.
8. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. (МАРПОЛ) / Лондон, 2 ноября 1973 г.
9. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду».
10. Розенфельд И.Л., Персианцева В.П. Ингибиторы атмосферной коррозии. – М.: Наука, 1985.
11. Трусов В.И., Богданова С.Е., Крымская Р.С. Экологически и технически безопасные технологии водной консервации оборудования нефтяной отрасли // Естественные и технические науки. – 2011. – № 6 (56). – С. 332–336.
12. Трусов В.И., Жак В.Л., Архипова Е.Г., Крымская Р.С. Новые системы покрытий и технологии консервации материалами «Нотех» / Мат-лы междунар. науч.-практич. конф. 17–19 мая 2011 г. Санкт-Петербург: Ленэкспо. 2011. С. 84–86.
13. Трусов В.И., Крымская Р.С. Ингибиторы атмосферной коррозии для условий Севера // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения // Труды 9-й Международной научно-практической конференции. Воркута. 6–8 апреля 2011 г. Воркута: Филиал СПГИ (ТУ) – 2011. – Т. 2 – С. 384–386.

14. Трусов В.И., Крымская Р.С. Консервационный состав для оборудования хранения и переработки нефти // Естественные и технические науки. – 2012. – № 1 (57). – С. 229–233.

15. Трусов В.И., Крымская Р.С. Технологии совмещения систем постоянной и временной противокоррозионной защиты // Локомотив информ. – 2010. № 8. – С. 6–7.

16. Трусов В.И., Крымская Р.С. Технологии совмещения систем постоянной и временной противокоррозионной защиты / Локомотив информ. – 2010. – № 8. – С. 6–7.

17. Хоникович А.А. Вода и коррозия в судостроении: учеб. пособие. – Л.: ЛКИ, 1984.

Нормативные документы

1. ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

2. Приказ Росприроднадзора от 18.07.2014 № 445 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов».

3. СТП 225.029-80 Применение ингибирующего покрытия для защиты от коррозии балластных отсеков судов. Жданов, 1980.

4. ТУ 6-00-05808009-248-92 Ингибитор летучий-нитрит диклоценксиламина (НДА).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Классификация ингибиторов коррозии и оценка эффективности их действия	4
2. Ингибиторы коррозии для нейтральных сред	5
2.1. Анондые ингибиторы коррозии.....	7
2.2. Катодные ингибиторы коррозии.....	8
2.3. Примеры действия ингибиторов коррозии в нейтральных средах	10
3. Ингибиторы коррозии для кислых сред.....	11
4. Ингибиторы атмосферной коррозии	14
4.1. Летучие ингибиторы	14
4.2. Контактные (нелетучие) ингибиторы.....	17
5. Экспериментальная часть	20
6. Контрольные вопросы	23
7. Варианты контрольных заданий	24
8. Инструкция по технике безопасности при работе в химической лаборатории	30
9. Токсичность и экологическая безопасность ингибиторов коррозии	31
10. Список использованных источников	33

