

Казанский государственный технологический
университет
Кафедра технологии электрохимических производств

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ КРУПНЫХ
ОБЪЕКТОВ ТЕХНИКИ**

Методические указания к лабораторным работам

Казань 2004

УДК 541.13(076.5)

Составители: И.Н. Андреев, Г.Г. Гильманшин,
Ж.В. Межевич

Электрохимические технологии защиты от коррозии крупных объектов техники. Метод. указания к лабораторным работам/Казанск. гос. технол. ун-т: сост: И.Н. Андреев, Ж.В. Межевич, Г.Г. Гильманшин Казань, 2004 г.50 с.

Дано краткое описание 3 работ по основам электрохимической технологии с использованием опыта преподавания этого курса на кафедре ТЭП КГТУ. Рассмотрены принципы устройства и электрические характеристики электрохимических объектов – систем электрохимической защиты крупных объектов техники. Выполнение работ сопровождается построением ПД-портретов моделей таких электрохимических объектов с использованием графопостроителя пакета *Excel*.

Предназначены для студентов и преподавателей химико-технологических специальностей вузов. Могут быть полезны инженерно-техническим работникам, деятельность которых связана с электрохимическими технологиями.

Научный редактор д-р.техн.наук. проф. Кайдриков Р.А.

Рецензенты: проф. Т.Г.Ахметов, проф. Р.С.Сайфуллин
Редактор изд-ва Л.Г.Шевчук

Р а б о т а 1. Катодная протекторная защита

1.1. Введение

Цель работы — 1) ознакомление с принципом и важнейшими инженерными аспектами электрохимической технологии протекторной катодной защиты,

2) освоение приемов

- экспериментальных измерений на лабораторной модели электрохимического объекта и

- проведение расчетов некоторых важных параметров технического объекта на основе моделирования.

Работа состоит в экспериментальном определении параметров электрохимической системы, включающей стальной и цинковый плоские электроды в 3%-ном растворе $NaCl$ или 3% Na_2SO_4 (измеряют ток в поляризующей цепи и потенциалы обоих электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке).

Катодная протекторная защита металлических конструкций от электрохимической коррозии состоит в том, что к защищаемой конструкции присоединяют анодный протектор — какой-либо металл или сплав, имеющий в данной коррозионной среде потенциал, меньший, чем у материала защищаемой конструкции.

Механизм катодной защиты металлов от коррозии с помощью анодного протектора состоит в том, что при протекании электрического тока через границу защищаемого металла с коррозионной средой поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, ее потенциал уменьшается, что может приводить к почти полному прекращению коррозионного разрушения. При этом не важно, что является источником поляризующего тока на этой границе – катодная станция или протектор. Во втором случае на поверхности протектора при этом протекает анодный процесс, который постепенно приводит к его

растворению. Потому протектор необходимо периодически возобновлять.

Для защиты стальных конструкций от коррозии в морской воде или грунте в качестве материала анодных протекторов чаще всего применяют чистый цинк или сплавы $Al + Zn$, а также сплавы на основе магния. Значительное влияние на сферу действия протектора оказывает электропроводимость электролита.

При правильном применении этого способа защиты коррозия металлической конструкции в электролите либо полностью прекращается, либо значительно уменьшается. Полная защита возможна, если при присоединении анодного протектора к металлу потенциал металла достигает значения его обратимого потенциала (см. поляризационную диаграмму в Приложении 2).

Эффективность протекторной защиты металлов от коррозии, так же как и других методов электрохимической защиты, принято характеризовать *величиной защитного эффекта* и *коэффициентом защитного действия*. Эти показатели зависят от электрохимических характеристик протектора: бестокового электродного потенциала, поляризуемости, величины поверхности, стабильности работы во времени и др. Поэтому для характеристики материала анодных протекторов используют: электродный потенциал E_{np} , выход тока и коэффициент полезного действия.

Теоретический выход тока анодного протектора — величина, обратная электрохимическому эквиваленту $C_{теор}$ металла протектора.

Расхождение между теоретическим и практическим выходами тока обусловлено главным образом саморастворением (коррозией) металла анодного протектора. Таким образом, убыль массы анодного протектора складывается из полезных потерь, связанных с генерацией защитного тока в цепи гальванической макропары протектор — защищаемый металл, и непроизводительных потерь массы, связанных с саморастворением анодного протектора.

Метод защиты с помощью анодных протекторов — эффективный и экономически выгодный метод защиты металлических конструкций от коррозии в морской воде, грунте и

других нейтральных коррозионных средах. В кислых средах вследствие малой катодной поляризуемости в них металлов и большого саморастворения металла анодных протекторов применение катодной протекторной защиты ограничено.

Катодную протекторную защиту широко применяют как дополнительное (к изолирующему покрытию), а также как самостоятельное средство защиты металлических конструкций от коррозии. При практической реализации системы протекторной защиты пользуются разработанной проектной и эксплуатационной нормативно-технической документацией (см. приложения к работе 1).

1.2. Аппаратура и методика работы

Зачищают наждачной бумагой пластинчатый образец (толщиной 0,5 мм и рабочей поверхностью порядка 25 см²) из углеродистой или низколегированной стали (по указанию преподавателя) и такой же пластинчатый образец (рабочей поверхностью порядка 25 см²) из металла анодного протектора (Zn, Cd, Al, Mg и др.— по указанию преподавателя), очищают их, протирая фильтровальной бумагой или ватой, смоченными органическим растворителем. Приготовленные образцы-электроды электрохимической системы помещают в прямоугольную ячейку и собирают электрическую цепь в соответствии с рис.1. Магазин сопротивлений используют для регулирования поляризующего тока в системе. Измерения начинают при разомкнутой цепи, продолжают их при возможно большем сопротивлении магазина R. Постепенное уменьшение сопротивления позволяет увеличивать поляризующий ток. Все значения сопротивления магазина, поляризующего тока, потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке, измеренные в соответствии с рис.1, заносят в таблицу и используют в дальнейшем для построения поляризационной диаграммы (с использованием графопостроителя пакета *Excel*) изучаемого объекта (пример диаграммы см. в Приложении б). Потенциалы электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке измеряют с использованием лабораторных электродов сравнения (х.с.э.) и

предназначенного для этой цели блока потенциостата П5827 или П5848.

1.3. Обработка опытных данных

Для решения второй части учебной задачи - *расчета некоторых важных параметров технического объекта на основе результатов проведенного моделирования*, используя полученные данные, строят поляризационную диаграмму объекта с заданными (преподавателем) геометрическими характеристиками и находят на диаграмме требуемые электрические характеристики: поляризующий ток и потенциалы защищаемой конструкции и протектора. Может быть поставлена задача определения радиуса действия протектора. В этом случае в задании указывается плотность поляризующего защитного тока или потенциал (например, $-0,85$ В по м.с.э.).

После завершения измерений электрическую схему разбирают, электроды споласкивают водой и сушат фильтровальной бумагой.

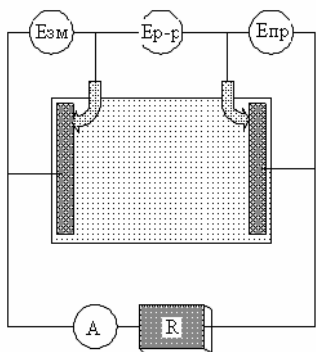


Рис. 1. Схема установки для измерения параметров системы защиты стали от коррозии с помощью протектора: ст и zn —стальной и цинковый электроды в электрохимическом объекте, R- реостат, А — амперметр, Езм, Епр и Ер-р— вольтметры для измерения потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке с использованием электродов сравнения.

В выводах кратко суммируют результаты проведенных измерений и моделирования опытов и дают оценку эффективности защиты стали от коррозии в исследованном электролите с помощью данного анодного протектора.

Рекомендуемая литература указана в Приложении 6.

Контрольные вопросы

1. Покажите, как на основе проведенных измерений определить параметры режима протекторной защиты.
2. Покажите, как на основе проведенных измерений определить удельное сопротивление электролита.
3. Продемонстрируйте, как на основе проведенных измерений построить поляризационную диаграмму технического объекта с заданными геометрическими параметрами.
4. Представьте и прокомментируйте принципиальную схему протекторной защиты технического объекта (подземной металлоконструкции, стальной емкости для воды, корпуса судна, портовой причальной стенки, шлюзовых конструкций и т.п.).
5. Проанализируйте конструкции протекторных узлов, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для протекторов.
6. Проанализируйте конструкции узлов электродов сравнения, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для их деталей.
7. Покажите, как влияет выбор положения электрода сравнения в межэлектродном пространстве на режим работы системы протекторной защиты.
8. Продемонстрируйте, как определить на ПД-портрете ток в цепи протектора при заданном значении защитного потенциала.
9. Покажите на ПД-портрете, как влияет сопротивление электролита на ток, генерируемый протектором в систему защиты.
10. Покажите на чертежах протекторного узла и узла электрода сравнения детали, которые обеспечивают изолированный ввод этих элементов системы протекторной защиты внутрь корпуса защищаемого объекта.

Справочные приложения

Приложение 1

(По Бекману В.) Катодное защитное действие обеспечивается независимо от того, получен ли защитный ток при взаимодействии с гальваническими анодами или от обычных технических источников постоянного тока. При использовании гальванических анодов (протекторов) требуемый защитный ток возникает вследствие разницы потенциалов между неблагородным анодным материалом и защищаемым объектом, не подсоединенным к посторонним источникам тока. Аноды изготавливают, как правило, из цинковых или магниевых сплавов и

поставляют готовыми для монтажа на месте. В грунтах с низким сопротивлением (низкоомных) их можно установить непосредственно в почву, однако в общем случае их помещают в активатор (постельная масса). Они должны поставляться готовыми к монтажу в джутовых мешках вместе с активатором. Перед установкой необходимо обильно пропитать активатор водой.

Магниевые аноды устанавливаются преимущественно в грунты с удельным электрическим сопротивлением $< 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а цинковые аноды - в грунты с сопротивлением $< 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Токоотдача магниевых анодов зависит, во-первых, от их размеров (особенно длины), а во-вторых (и главным образом) от удельного сопротивления грунта ρ , окружающего их.

При монтаже готовых упакованных анодных заземлителей их максимальная токоотдача достигается только примерно после 20 ч работы. Вследствие малого напряжения в системе цинк – катодно защищенное железо ($\sim 0,2 \text{ В}$) токоотдача цинковых анодов примерно в три раза меньше, чем у магниевых; поэтому цинковые аноды в грунтах почти не применяют.

Гальванические аноды используют преимущественно для защиты складских емкостей (резервуаров-хранилищ) и трубопроводов с хорошей изоляцией.

Для расчета срока службы магниевых анодов принимают изменение их массы вследствие их собственной коррозии

$$6 \text{ г/м}^2 \text{сут.}$$

Магниевые аноды можно использовать главным образом в грунтах с малым электрическим сопротивлением и для резервуаров-хранилищ с хорошей изоляцией, а также для трубопроводов с полиэтиленовым покрытием; магниевые и цинковые аноды используют также в морской воде и для внутренней защиты аппаратов.

Материалы протекторов. (По Люблинскому Е.Я.)

Применяемые для изготовления протекторов материалы должны иметь следующие свойства: оптимальное сочетание максимального и стабильного значений потенциала в условиях анодной поляризации при относительно небольшой разнице между бестоковым и

установившимся потенциалом пары протектор—защищаемый металл; невысокую анодную поляризуемость при изменении внешних факторов, например, физико-химических свойств среды, существенно влияющих на режим (плотность тока) поляризации протектора; высокую токоотдачу, или минимальный расход металла на количество электричества, необходимого для достижения оптимального режима защиты. Этими свойствами обладают широко применяющиеся в настоящее время для защиты конструкционных металлов в природных средах протекторные материалы на основе магния, алюминия и цинка.

Таблица П1-1. Химический состав некоторых основных протекторных материалов по ГОСТ 26251—84)

Тип сплава	Легирующие элементы, %				
	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	М. Д.*
МП	Остальное	0,5—7,0	2,0—4,0	0,02—0,5	<0,04
АП	—	Остальное	4,0—6,0	—	<0,1
ЦП	0,1—0,3	0,5—0,7	Остальное	0,1—0,3	<0,1

* М.Д. модифицирующая добавка (*Ti, Zr, Tl* в др.), которая может вводиться для стабилизации анодной активности протекторных сплавов.

Таблица П1-2. Усредненные физико-химические свойства протекторных материалов в природных средах (электролитах)

Тип сплава	МП	АП	ЦП
Плотность, $г/см^3$	1,8	2,8	7,1
Бестоковый потенциал	-1,30	-0,82	-1,83
Рабочий потенциал	-1,20	-0,70	-0,73
Токоотдача теоретическая, $A \cdot ч/кг$	2200	2880	820
К. п. д., %	65	85	95
Удельный расход, $кг/(A \cdot год)$	6,1	3,6	11,2
Ток поляризации, $A/м^2$	<10	<5	<4
Водородная деполяризация, $м^3/кг$	0,3	0,2	0,001
Взрывопожароопасность	Высокая	Невысокая	Отсутствует

Высокие и стабильные электрохимические характеристики протекторных материалов достигаются только при строгом соблюдении требований, предъявляемых к составу материалов и технологии их изготовления. Так, незначительное превышение содержания примесей приводит к уменьшению токоотдачи магниевых и алюминиевых сплавов в 2 и 1,5 раза и вызывает пассивацию цинковых сплавов.

Большая номенклатура протекторных материалов обусловлена в основном необходимостью достижения требуемых параметров и обеспечения оптимальной эффективности защиты конструкций, отличающихся многообразием исполнения и условий эксплуатации.

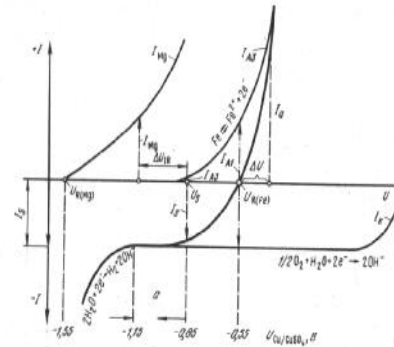
В практике катодной защиты с применением протекторов строго соблюдаются принципы их выбора, которые основаны на многолетнем положительном опыте их применения. Так, если отсутствуют какие-либо ограничения при выборе средств защиты конструкций, то лучшими протекторными материалами считаются сплавы на основе алюминия. Такие металлоконструкции составляют свыше 60 % и поэтому алюминиевые протекторные сплавы получили наибольшее распространение.

Магниевые сплавы благодаря своему высокому отрицательному потенциалу и невысокой поляризуемости рекомендуются для создания протекторов, защищающих металлоконструкции в средах с низкой электропроводимостью, или протекторов с большой зоной защитного действия.

Цинковые сплавы, имеющие потенциал, близкий к потенциалу алюминиевых сплавов, но меньшую токоотдачу, чем у магниевых и алюминиевых сплавов, рекомендуются только в тех случаях, когда необходимо обеспечить взрывопожаробезопасность, исключить выделение и накопление водорода. Кроме того, они используются, если необходимо ограничить объем (размеры) протектора и исключить изменение pH среды.

Таким образом, благодаря разнообразию свойств протекторных сплавов их можно применять для защиты подавляющего большинства металлоконструкций.

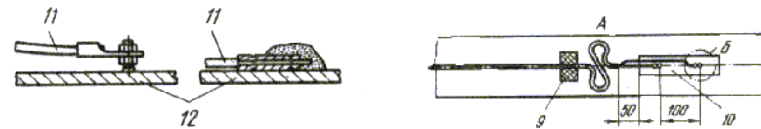
Приложение 2 Поляризационная диаграмма системы катодной защиты

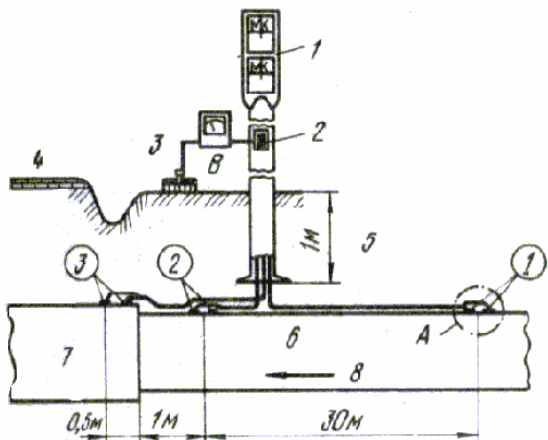


описывающая принцип электрохимической защиты с использованием протектора (U -потенциал (по медно-сульфатному электроду), I -ток в системе, I_{Af} - коррозионный ток при свободной коррозии; I_{AS} - тоже, при катодной защите; $I_S = I_{Mg}$ - защитный ток и ток, который может генерировать протектор, расположенный на расстоянии от защищаемой конструкции, при котором $U = \Delta U_{IR}$, $U_S = -0,85$ - защитный потенциал; A - область катодной защиты).

Рис. П2-1. «Бекмановская» версия поляризационной диаграммы,

Приложение 3 Некоторые инженерные решения в системе протекторной защиты





измерения тока в трубопроводе;
 подсоединение 2 + 3 - точка
 измерения потенциала трубы-
 оболочки; подсоединение 1 + 2 + 3 -
 точка измерения тока в трубе-
 оболочке, и в продуктопроводе;
 подсоединение 1 + (2) + 3 -
 измерение соединения по
 потенциалу с посторонним
 трубопроводом:

1 - столбик с табличкой; 2 - гнездо
 для подсоединения измерительных
 приборов; 3 - электрод $Cu/CuSO_4$; 4
 - улица (шосейная дорога); 5 — две
 привариваемые шпильки $M8 \times 25$; 6 -
 продуктопровод (транспортная
 труба); 7 - труба-оболочка; 8 -
 направление транспортировки
 продукта; 9 — изолирующий
 бандаж; 10 - трубопровод со
 снятой изоляцией; 11 -- кабель; 12 -
 трубопровод; 13 ~ привариваемая
 шпилька $M8 \times 25$; 14 - контактный
 стержень с резьбой

Рис. ПЗ-1. Измерительный
 пункт на трубопроводе с катодной
 защитой [узел А (вид сверху), узел
 Б: изоляция должна быть вырезана
 без образования острой кромки];
 (цифры в кружках 1—3 - тип
 подсоединения, применяются
 шпильки $M8 \times 25$, привариваемые
 встык; подсоединение 2- точка
 измерения потенциала;
 подсоединение 1 - 2 точки

Приложение 4

Варианты конструкций протекторов и способы их монтажа на защищаемом объекте.

Конструкции протекторов. (По Люблинскому Е.Я.) Известны сотни типоразмеров протекторов, каждый из которых выполняет определенную узкую функцию, но отсутствует строгая классификация протекторов по конструктивному исполнению» форме и размерам. В каждой отрасли промышленности применяются определенные конструкции протекторов. При этом эффективность защиты от коррозии удается оптимизировать, но технико-экономические показатели защиты не всегда оптимальны.

По своему исполнению и назначению конструкции протекторов могут быть разделены на четыре группы (рис. П4-1). К первой группе относятся короткозамкнутые протекторы с заливкой контактно-крепежной арматурой из оцинкованной стали. Вторая группа охватывает все конструкции с монтажными отверстиями, которые служат как для крепления на шпильках неотключаемых протекторов на защищаемом объекте, так и для электрического их соединения — короткозамкнутого или через постоянное балластное сопротивление. К третьей группе относятся отключаемые протекторы, у которых монтажное и контактно-крепежное соединения разделены. Особое место занимает четвертая группа протекторов (подвесных), представляющая собой конструкцию с залитым контактно-крепежным стержнем. Область применения последних очень широка и охватывает большинство стационарных металлоконструкций. По простоте и надежности наилучшими являются конструкции первой и четвертой групп. Конструкции других групп применяются только при предъявлении специальных требований к системам защиты от коррозии, например, при необходимости ограничения зоны защитного действия, увеличения срока службы, исключения явления перезащиты.

Для изготовления первой группы протекторов используют все известные протекторные сплавы. Остальные конструкции изготавливают в основном из магниевого сплава или алюминиевого сплава повышенной анодной активности (сплав АП4; —Е 0,84-0,9 В). В настоящее время в отечественной практике применяются свыше 100 типоразмеров протекторов массой от 0,1 до 100 кг, имеющих срок службы от 0,5 до 25 лет и зону защитного действия от 0,1 до 500 м² (табл. П4-1).

Таблица П4-1. Технические характеристики некоторых типов протекторов в природных средах

Тип протектора	Материал	Размеры, мм	ρ , См/м	Зона защитного действия ¹ , м ²	Срок службы, годы
П-КОА-10	АП	400x200x50	4,5	40	4,0
П-ШШ-14	МП	500x200x100	2,0	25	2,5
П-РОМ-6 ²	МП	500x150x50	2,0	200	1,0
П-ПОМ-60	МП	600x270x240	2,0	60	5,0
П-ПОА-60	АП	800x210x180	4,5	50	10
П-КОЦ-20	ЦП	200x200x100	4,5	20	3,5

¹ Для стальной поверхности с лакокрасочным или другим электроизолирующим покрытием из расчета $j_3 = 25 \text{ мА/м}^2$.

² Для алюминиевых конструкций из расчета $j_3 = 5 \text{ мА/м}^2$.

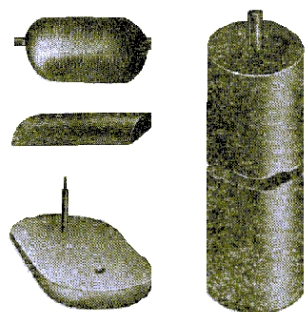


Рис. П4-1. Принципиальные конструкции узлов соединения протекторов с объектом для систем защиты и их внешний вид;

1 — защищаемая конструкция; 2 — протектор; 3 — постоянное балластное сопротивление; 4 — контактный стержень; 5 — контактно-крепежный кабель (металлический трос)

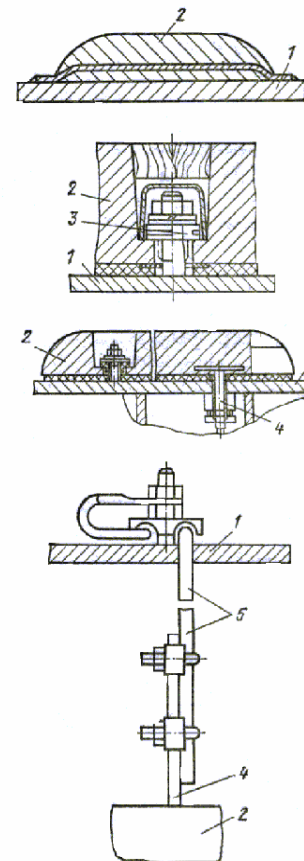


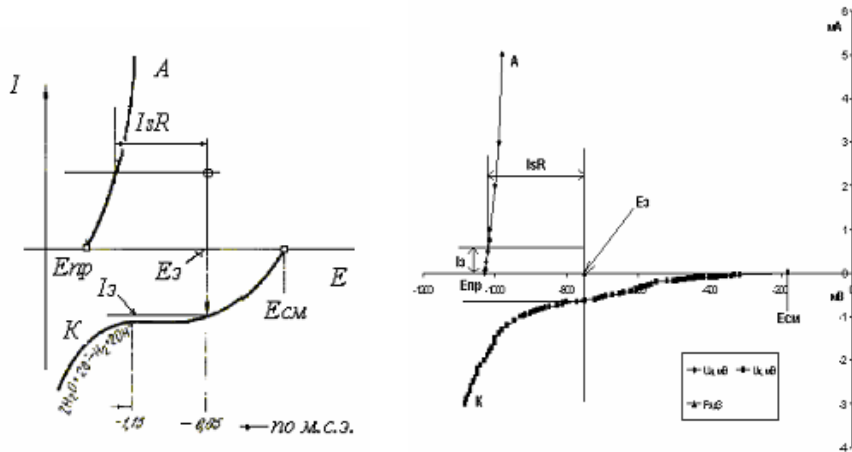
Рис. П4-1. Принципиальные конструкции узлов соединения протекторов с объектом для систем защиты и их внешний вид;

1 — защищаемая конструкция; 2 — протектор; 3 — постоянное балластное сопротивление; 4 — контактный стержень; 5 — контактно-крепежный кабель (металлический трос)

Приложение 5
Расчетные формулы для оценки основных параметров протекторов и протекторной защиты.

Приложение 6

Поляризационная диаграмма лабораторной модели системы катодной защиты стальной конструкции с использованием цинкового протектора (а – схема диаграммы, б – построена на основе экспериментальных данных)



Приложение 7. Рекомендуемая литература

1. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии: Справочник //Под ред. И. В. Стрижевского. М.: Металлургия, 1984, 496 с.
2. Люблинский Е. Я. Протекторная защита морских судов и сооружений от коррозии. Л.: Судостроение, 1979, 188 с.
3. Бекман В. Катодная защита. Справочник. М.Металлургия. 1992.
4. Техника борьбы с коррозией. Пер. под ред. Сухотина А.М. Л.Химия, 1980.

Работа 2. Электрохимическая защита с использованием катодной станции

2.1. Введение

Цель работы — 1) ознакомление с принципом и важнейшими инженерными аспектами электрохимической технологии катодной защиты с использованием внешнего источника поляризующего тока,

2) освоение приемов

- экспериментальных измерений на лабораторной модели электрохимического объекта и

- проведение расчетов некоторых важных параметров технического объекта на основе его моделирования.

Работа состоит в экспериментальном определении параметров электрохимической системы, включающей два стальных плоских электрода (один из которых моделирует защищаемый объект, а другой - анодный заземлитель) в 3%-ном растворе $NaCl$ или 3% Na_2SO_4 (измеряют ток в поляризующей цепи и потенциалы обоих электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке).

Катодная электрохимическая защита металлических конструкций от электрохимической коррозии состоит в том, что к защищаемой конструкции присоединяют источник поляризующего тока (катодную станцию).

Механизм катодной защиты металлической конструкции от коррозии с помощью катодной станции состоит в том, что при протекании электрического тока через границу защищаемого металла с коррозионной средой поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, ее потенциал уменьшается, что может приводить к почти полному прекращению коррозионного разрушения. При этом не важно, что является источником поляризующего тока на этой границе – катодная станция или протектор. В первом случае для обеспечения поляризации защищаемой конструкции в систему должен быть включен вспомогательный электрод – анодный заземлитель, на поверхности которого при этом протекает анодный процесс, который постепенно приводит к его растворению. Потому анодный заземлитель необходимо периодически возобновлять (что сопряжено с затратами на ремонтные работы). Для уменьшения расходов, связанных с заменой анодных заземлителей, для их изготовления используют малорастворимые или нерастворимые при анодной поляризации материалы.

Значительное влияние на сферу действия катодной станции оказывает электропроводность электролита.

При правильном применении этого способа защиты коррозия металлической конструкции в электролите либо полностью прекращается, либо значительно уменьшается. Полная защита возможна, если при присоединении к поляризующей цепи потенциал металла достигает значения его обратимого потенциала (см. поляризационные диаграммы в Приложении 1).

Эффективность электрохимической защиты металлов от коррозии, так же как и других методов противокоррозионной защиты, принято характеризовать *величиной защитного эффекта* и *коэффициентом защитного действия*. Эти показатели зависят от электрохимических характеристик: бестокового электродного потенциала, поляризуемости, величины поверхности, стабильности работы во времени и др.

Метод защиты с помощью катодной станции — эффективный и экономически выгодный метод защиты металлических конструкций от коррозии в морской воде, грунте и других нейтральных коррозионных средах. В кислых средах вследствие малой катодной поляризуемости в них металлов и большого саморастворения металла анодных заземлителей применение катодной защиты ограничено. Важно также иметь в виду возможное негативное влияние наводороживания на свойства материала защищаемой конструкции.

Катодную электрохимическую защиту широко применяют как дополнительное (к изолирующему покрытию), а также как самостоятельное средство защиты металлических конструкций от коррозии. При практической реализации системы катодной электрохимической защиты пользуются разработанной проектной и эксплуатационной нормативно-технической документацией (см. приложения).

2.2. Аппаратура и методика работы

Зачищают наждачной бумагой два стальных пластинчатых образца (толщиной 0,5 мм и рабочей поверхностью порядка 25 см²) из углеродистой или низколегированной стали (по указанию преподавателя), очищают их, протирая фильтровальной бумагой или ватой, смоченными органическим растворителем. Приготовленные образцы - электроды электрохимической системы

помещают в прямоугольную ячейку и собирают электрическую цепь в соответствии с рис.1. Потенциостат П5827 (или П5848) используют для гальваностатической поляризации электродов в ячейке, моделирующей систему катодной электрохимической защиты. Измерения начинают при разомкнутой цепи, продолжают их при постепенном возрастании поляризующего тока. Все значения поляризующего тока, потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке, измеренные в соответствии с рис.1, заносят в таблицу и используют в дальнейшем для построения поляризационной диаграммы (с использованием графопостроителя пакета *Excel*) изучаемого объекта (пример диаграммы см. в Приложении 5). Потенциалы электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке измеряют с использованием лабораторных электродов сравнения (*х.с.э.*) и предназначенного для этой цели блока потенциостата П5827 (или П5848).

2.3. Обработка опытных данных

Для решения второй части учебной задачи - *расчета некоторых важных параметров технического объекта на основе результатов проведенного моделирования*, используя полученные данные, строят поляризационную диаграмму объекта с заданными (преподавателем) геометрическими характеристиками и находят на диаграмме требуемые электрические характеристики: поляризующий ток и напряжение на клеммах источника поляризующего тока, его номинальную мощность. Может быть поставлена задача определения электрохимических параметров (плотности поляризующего тока и потенциала) защищаемой конструкции и анодного заземлителя при выбранном (заданном) режиме работы источника поляризующего тока. В этом случае в задании указывается геометрические параметры системы и напряжение на клеммах источника тока.

После завершения измерений электрическую схему разбирают, промывают электроды водой и сушат фильтровальной бумагой.

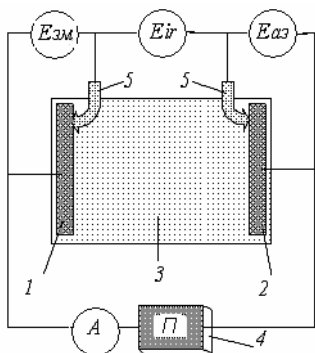


Рис. 1. Схема установки для измерения параметров системы защиты стали от коррозии с помощью внешнего источника поляризующего тока: 1 и 2 — защищаемый металл и анодный заземлитель в системе катодной защиты, 3 — электролит, 4 — потенциостат, А — амперметр, Ez, Eaz и Eir — вольтметры для измерения потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке с использованием электродов сравнения 5.

В выводах кратко суммируют результаты проведенных измерений и моделирования и дают оценку эффективности катодной защиты стали от коррозии в исследованном электролите.

Рекомендуемая литература указана в **Приложении 6**.

Контрольные вопросы

1. Покажите, как на основе проведенных измерений определить параметры режима катодной защиты.
2. Покажите, как на основе проведенных измерений определить удельное сопротивление электролита.
3. Продемонстрируйте, как на основе проведенных измерений построить поляризационную диаграмму технического объекта с заданными геометрическими параметрами.
4. Представьте и прокомментируйте принципиальную схему катодной защиты технического объекта (подземной металлоконструкции, стальной емкости для воды, корпуса судна, портовой причальной стенки, шлюзовых конструкций и т.п.).
5. Проанализируйте конструкции узлов анодных заземлителей, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для них.
6. Проанализируйте конструкции узлов электродов сравнения, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для их деталей.
7. Покажите, как влияет выбор положения электрода сравнения в межэлектродном пространстве на режим работы системы катодной защиты.
8. Продемонстрируйте, как определить на ПД-портрете ток в цепи катодной защиты при заданном значении защитного потенциала.
9. Покажите на ПД-портрете, как влияет сопротивление электролита на ток, генерируемый источником в систему защиты, при выбранном напряжении на его выходных клеммах.

10. Покажите на чертежах узла анодного заземлителя и узла электрода сравнения детали, которые обеспечивают изолированный ввод этих элементов системы катодной защиты внутрь корпуса защищаемого объекта.

Справочные приложения

Приложение 1

КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ТОКОМ ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА. (По Бекману В.) Для резервуаров-хранилищ и трубопроводов со значительным потреблением защитного тока, в особенности для старых сооружений с плохой изоляцией применяют преимущественно установки катодной защиты с питанием от постороннего источника. Величину требуемого защитного тока определяют расчетом или экспериментально временным подводом защитного тока. По величине тока подбирают выпрямитель, помещаемый в пластмассовый шкаф. На рис. ПЗ-1 иллюстрируется устройство станции катодной защиты с питанием от внешнего источника тока. Станция состоит из шкафа с выпрямителем, соединительных кабелей и анодных заземлителей. При выборе места размещения станций катодной защиты необходимо принимать во внимание следующие соображения: 1) наличие подсоединения к источнику тока низкого напряжения; 2) сопротивление грунта в области анодного поля должно быть возможно более низким ($\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);

3) по возможности меньший ущерб интересам частных землевладельцев, чтобы облегчить переговоры по отводу земельного участка;

4) благоприятное расположение по отношению к транспортным путям;

5) достаточные расстояния от прочих подземных установок и возможно более низкое напряжение на выпрямителе во избежание помех для других систем; б) экономичный расчет станции катодной защиты с возможно более низким сопротивлением распространению тока от анодов.

При катодной защите с питанием от постороннего источника коррозию трубопровода принимают на себя анодные заземлители. Эти аноды следует укладывать по возможности во влажный грунт, имеющий низкое электрическое сопротивление; желательно, чтобы они располагались ниже уровня грунтовых вод. В справочниках приводятся рекомендуемые нормативные величины для станций катодной защиты с анодами, питаемыми от постороннего источника, учитывающие влияние других подземных сооружений (особенно в городском районе); эти нормативы относятся к сопротивлению грунта $\rho \sim 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Анодные заземлители с питанием от постороннего источника должны располагаться на достаточно большом расстоянии от других подземных трубопроводов, чтобы изменение потенциала по отношению к «удаленной земле» не превышало 0,5 В. Если на этом участке располагаются посторонние трубопроводы или кабели, необходимо определить их влияние, измеряя напряжение. Допустимы небольшие смещения по отношению к проектному расположению в зависимости от местных условий, если сопротивление растеканию тока с анодных заземлителей повысится незначительно и не потребуются отвода нового участка. Экономичные сечения кабелей для подсоединения к анодным заземлителям и к защищаемому объекту можно определить, исходя из требуемого срока службы объекта. По соображениям экономичности складского хозяйства предпочитают следующие сечения: 2x2,5, 4x2,5, 4x6, 4x16, 1x50 или 1x70 мм² меди. Следует применять кабели без жил. Минимальные сечения кабелей для анодного кабеля равны 2,5 мм² меди, а для кабеля к защищаемому объекту – 4 мм² меди.

Источники питания. (По Лублинскому Е.Я.) Применяют источники питания постоянного тока трех разновидностей: автоматические с ручным и дискретным регулированием выходных параметров. Каждая из разновидностей источников питания имеет свои особенности, определяемые условиями эксплуатации защищаемых металлоконструкций. Так, при разработке источников питания учитывают климатические факторы (температура и влажность среды), постоянство физико-химических свойств среды или их изменение (например, электропроводности), отсутствие или наличие внешних воздействий (например, качки при защите плавучих судов и сооружений).

Источники питания изготавливают с различным диапазоном технических характеристик, прежде всего — выходной мощности, напряжения, тока нагрузки и точности поддержания потенциала или тока. Первые два типа предназначены для систем катодной защиты плавучих и стационарных морских и озерных металлоконструкций. Среди них суда, плавучие электростанции, доки, причалы, мастерские. Источники типа АРТЗ предназначены для систем катодной защиты подземных металлоконструкций. Это наиболее надежные источники, так как они применяются для обширного класса сложных металлоемких и дорогостоящих сооружений и конструкций, эксплуатирующихся в разнообразных условиях. В большинстве случаев такая катодная защита применяется в сочетании с лакокрасочными или изолирующими покрытиями, свойства которых по-разному изменяются в различных

климатических зонах. Чтобы катодная защита сохраняла свою эффективность, источники питания должны обеспечивать строгое поддержание заданных параметров защиты, независимо от изменения внешних факторов. Сравнивая ток нагрузки и плотность защитного тока, можно видеть, что один источник питания может служить для предотвращения коррозии металлоконструкций площадью от 500 до 10000 м². Для съема такого тока и его распределения по поверхности защищаемой конструкции применяют несколько анодов (анодных узлов). Число их определяют по отношению тока нагрузки к току анода и уточняют по величине зоны его защитного действия. В связи с этим в источниках питания должна быть предусмотрена возможность автоматического регулирования нагрузки на каждый анод.

Для алюминиевых конструкций опасно явление перезащиты, наступающее при превышении некоторого значения отрицательного потенциала. Очевидно, что при катодной защите алюминиевых конструкций в источниках питания должно быть предусмотрено ограничение потенциала также по минимально допустимому значению.

Для простейших случаев в качестве источников питания применяют обычные выпрямители, например, при необходимости защиты от коррозии небольших конструкций, эксплуатирующихся при постоянных характеристиках внешней среды. Часто применяют модернизированные выпрямители, т. е. несколько измененные применительно к решению конкретных задач катодной защиты. Такие выпрямители иногда также именуется катодными станциями, однако, это не лучшие варианты источников питания, хотя они широко применяются и обеспечивают определенный эффект. Но чтобы катодная защита была эффективной, источник питания должен быть разработан применительно к данной системе защиты. Случайно «приспособленные» кустарные выпрямительные агрегаты не следует применять.

Приложение 2

Поляризационная диаграмма системы катодной защиты

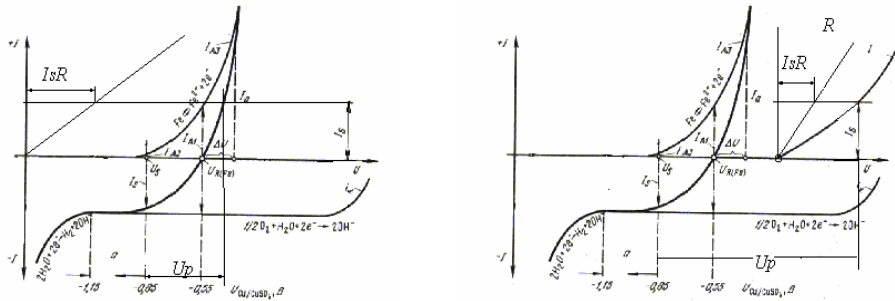


Рис. П2-1. «Бекмановская» версия поляризационных диаграмм, описывающих принцип электрохимической защиты с использованием растворимого и нерастворимого анодных заземлителей (U - потенциал по медно-сульфатному электроду), I - ток в системе, I_{Af} - коррозионный ток при свободной коррозии; I_{AS} - тоже, при катодной защите; I_S - защитный ток и ток, который может генерировать катодная станция.

Приложение 3

Некоторые инженерные решения в системе катодной защиты

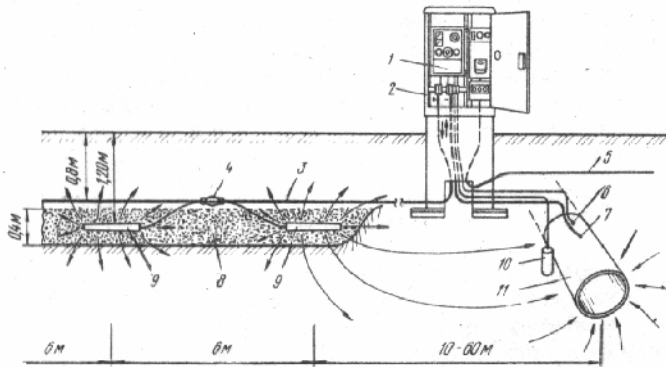


Рис. П3-1. Станция катодной защиты от коррозии с питанием от постороннего источника и горизонтальным расположением анодных заземлителей: 1 -- источник защитного тока; 2 - шкаф для источника защитного тока; 3 - анодный кабель (+); 4 - муфта; 5 - силовой кабель; 6 - к вольтметру; 7 - подсоединение зашитога тока (-); 8 - коксовая постель; 9 - анодные заземлители; 10 - электрод сравнения; 11 - защищаемый трубопровод

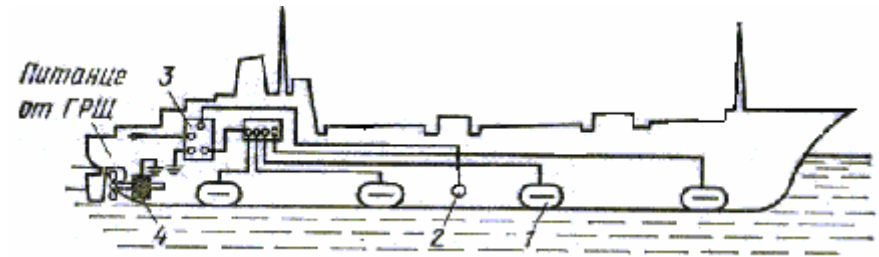


Рис. ПЗ-2. Система катодной защиты от коррозии корпуса судна с питанием от постороннего источника- генератора постоянного тока (4) на борту судна и горизонтальным расположением анодных заземлителей: 1 – аноды, закрепленные на корпусе судна; 2 –электрод сравнения, 3- защитная станция.

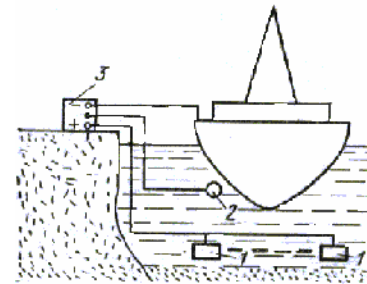


Рис. ПЗ-3. Система катодной защиты от коррозии корпуса судна, находящегося у причальной стенки с питанием от постороннего источника, находящегося на берегу: 1 - аноды; 2 – электрод сравнения; 3 - источник защитного тока.

Приложение 4

Варианты конструкций анодов и способов их монтажа на защищаемом объекте.

Аноды (анодные узлы). Аноды представляют собой конструкции, состоящие из материала, подвергаемого анодной поляризации (собственно анода), и вспомогательных элементов, служащих для конструктивного оформления анода. Аноды являются наиболее ответственными элементами систем катодной защиты, так как от их технических характеристик зависит эффективность системы катодной защиты. Являясь вспомогательными электродами в системах катодной защиты, аноды должны допускать высокий ток нагрузки, отличаться невысокой поляризуемостью и иметь небольшую скорость растворения.

Высокая надежность и необходимые технические характеристики анодов обеспечиваются правильным выбором их материалов и конструкции.

Материалы анодов различают: растворимые, малорастворимые и нерастворимые. К первым относятся стали и алюминиевые сплавы. Они имеют высокую скорость анодного растворения и поэтому не имеют широкого применения. Малорастворимые аноды (ферросилид, графит, магнетит, сплавы свинца) по совокупности технических, экономических показателей и по доступности получили наиболее широкое распространение.

В качестве материала нерастворимых анодов используются в основном платина и ее сплавы. Как правило, аноды изготавливают из биметалла платина — титан или платина — ниобий.

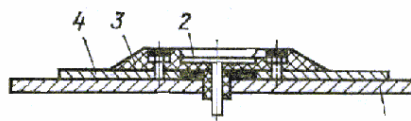


Рис. П4-1. Принципиальная конструкция стационарного анода с экраном: 1 — защищаемая конструкция; 2 — собственно анод из биметалла; 3 — анодная основа; 4 — экран из диэлектрика.

Методы нанесения платины на подложку различны (гальванический, диффузионный, взрыв, прокатка) в зависимости от конструктивных особенностей и размеров анодов, а также условий их эксплуатации. Технические характеристики анодов, полученных различными методами нанесения платины, существенно различны, однако практическое применение получили все методы.

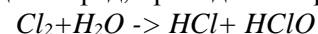
Платиновые аноды имеют наилучшие технические характеристики и позволяют создавать системы катодной защиты практически с любым сроком службы, большим интервалом токовых нагрузок и широкой зоной защитного действия. Однако их применение обосновано только в наиболее ответственных конструкциях, когда замена и восстановление анодов в период эксплуатации металлоконструкций невозможна или затруднена, например, при защите морских судов и других плавучих сооружений.

При выборе материалов анодов необходимо иметь в виду протекающие на них электродные процессы, так как в отдельных случаях результаты анодных реакций могут пагубно сказаться на свойствах металлоконструкций. Для растворимых анодов основным процессом является ионизация металла $Fe=Fe^{2+}+2e$ или $Al=Al^{3+}+3e$. Малорастворимые аноды, для которых допустимо значительное увеличение тока поляризации, при некотором потенциале наряду с

указанными начинаются процессы выделения кислорода и хлора: $2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e$, $2Cl^- = Cl_2 + 2e$. При еще более высокой плотности тока выделение кислорода может идти по реакции $4OH^- = 2H_2O + O_2 + 2e$. Соотношение скоростей выделения кислорода и хлора определяется их перенапряжением, которое зависит от материала анода в каждой конкретной природной среде.

В большинстве сред, представляющих собой нейтральные водные растворы, в интервале потенциалов, близких к равновесным потенциалам кислорода (+0,8 В) и хлора (+1,4 В), при малых плотностях тока процесс идет с выделением кислорода. С ростом плотности тока доля хлора в электродном процессе возрастает и при $j_a > 2000 \text{ A/m}^2$ выход хлора по току достигает 100 %. Выбором материала анода можно изменить соотношение долей выделяющихся газов, так как суммарное перенапряжение процессов возрастает в ряду; платина -> графит -> ферросилид -> свинцово-серебряный сплав.

Образующийся хлор, взаимодействуя с водой и компонентами природных сред, приводит к образованию кислот по реакции



и при их накоплении в среде возможно возрастание скорости коррозии. Именно по этой причине катодная защита для предотвращения коррозии в замкнутых объемах рекомендуется редко. При ее применении следует обратить внимание на опасность накопления окислителей в щелях и застойных зонах, где скорость коррозии может заметно возрасти вследствие повышения кислотности среды.

Конструкции анодов. При выборе конструкции анодов учитывают особенности и условия эксплуатации защищаемого объекта, материал анода, значение защитного тока и срока службы защиты. Кроме этого, при выборе конструкции стремятся, чтобы она была проста в изготовлении, монтаже, демонтаже и восстановлении анодов. Конструкции анодов можно подразделить на две группы: стационарные, устанавливаемые непосредственно на защищаемом объекте, и подвесные, навешиваемые в коррозионную среду рядом с объектом и электрически соединенные с ним кабелем или металлическим тросом. Стационарные (автономные) аноды представляют собой конструкции, состоящие из собственно анодов, выполненных в изоляционной основе с комплектом контактнокрепежных соединений (рис. П4-1). В таких конструкциях катоды выполнены чаще всего из биметаллов платина — титан или платина — ниобий, но известны аноды из свинцово-серебряных сплавов. Для увеличения зоны защитного действия анодов они применяются в сочетании с экраном из изоляционного материала, устойчивого к

продуктам анодного процесса и катодной поляризации. Подвесные (вспомогательные) аноды представляют собой, как правило, литые конструкции, имеющие различную форму (цилиндр, труба, параллелепипед и др.) с залитым металлическим сердечником, с помощью которого анод электрически подсоединяется к источнику питания. Известны и другие конструкции подвесных анодов, например, в виде платиновой трубы или прутка, но все они по простоте и техническим возможностям уступают литым конструкциям. Для изготовления подвесных анодов используют растворимые и малорастворимые анодные материалы. В настоящее время применяют много типов анодов, которые отличаются техническими характеристиками, формой, размерами, способами изготовления, монтажа, назначением и надежностью.

Электроды сравнения. Контроль основного параметра защиты — защитного потенциала осуществляется с помощью стационарных и подвесных электродов сравнения. Они также служат датчиками потенциала в автоматических системах катодной защиты. Известны различные по природе и техническим характеристикам электроды сравнения, однако общими требованиями к ним являются стабильность потенциала во времени и при изменении внешних факторов для регулирования и поддержания с заданной точностью необходимого защитного потенциала металлоконструкций.

В природных средах, как было показано выше, защитный потенциал металлов изменяется в широких пределах и при заданной степени защиты точность его поддержания может считаться достаточной в пределах $\pm 50\text{мВ}$. Этим условиям отвечают электроды сравнения, представленные в табл. П4-1, получившие широкое распространение в практике электрохимической защиты.

Электроды сравнения различают стационарные, устанавливаемые для постоянного использования в системе защиты и переносные, предназначенные для периодического контроля величины потенциала. Для выполнения указанных функций известно различное конструктивное исполнение электродов. Среди них особый интерес представляют хлорсеребряные электроды сравнения с пористым измерительным элементом в виде прессованных брикетов из смеси серебра и хлористого серебра. Они отличаются высокой надежностью в работе и достаточной стабильностью потенциала.

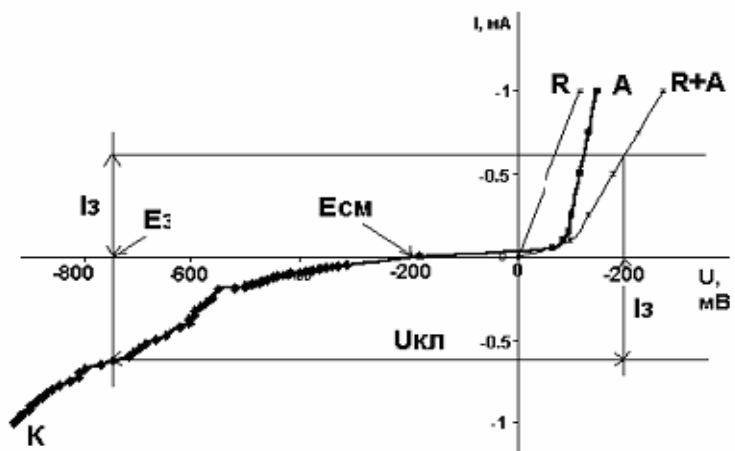
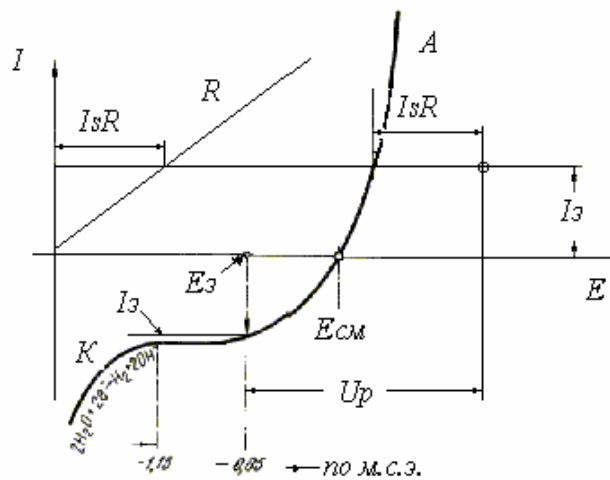
Таблица П4-1. Технические характеристики основных электродов сравнения при 20 °С

Электрод	Электролит	Рабочий потенциал мВ	Коррозионная среда
Медно-сульфатный	Насыщенный $CuSO_4$	+320	Природные среды
Хлор-серебряный	Коррозионная среда Насыщенный KCl	+240	То же
		+220	>
Цинковый	Коррозионная среда	-780	Морская вода
Ртутно-сульфатный	Насыщенный K_2SO_4	+710	Сульфатсодержащие растворы
Оксидно-ртутный	4 %-ный $NaOH$	+170	Разбавленные щелочи
	35 %-ный $NaOH$	+50	Концентрированные щелочи
Водородный ¹	35 %-ный HCl	0,00	Искусственная или природная
Каломельный ¹	Насыщенный KCl	+247	То же

¹Применяют в лабораторной практике.

Приложение 5

Поляризационная диаграмма лабораторной модели системы катодной защиты стальной конструкции с использованием заземлителя из стали.



Приложение 6. Рекомендуемая литература

1. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии: Справочник //Под ред. И. В. Стрижевского. М.: Металлургия, 1984, 496 с.
2. Люблинский Е. Я. Протекторная защита морских судов и сооружений от коррозии. Л.: Судостроение, 1979, 188 с.
3. Бекман В. Катодная защита. Справочник. М.Металлургия. 1992.
4. Техника борьбы с коррозией. Пер. под ред. Сухотина А.М. Л.Химия, 1980.

Р а б о т а 3. Анодная электрохимическая защита

3.1. Введение

Цель работы — 1) ознакомление с принципом и важнейшими инженерными аспектами электрохимической технологии анодной защиты с использованием внешнего источника поляризующего тока,

2) освоение приемов

- экспериментальных измерений на лабораторной модели электрохимического объекта и
- проведение расчетов некоторых важных параметров технического объекта на основе его моделирования.

Работа состоит в экспериментальном определении параметров электрохимической системы, включающей два стальных плоских электрода (один из которых моделирует защищаемый объект, а другой - катодный заземлитель) в водном растворе (г/л): NH_4CO_3 400 и NH_3 10 (измеряют ток в поляризующей цепи, потенциалы обоих электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке). С практикой применения анодной защиты стальных конструкций в амиачных средах обучающийся может ознакомиться в **Приложениях 1 и 2.**

Анодная электрохимическая защита металлических конструкций от электрохимической коррозии состоит в том, что к защищаемой конструкции присоединяют источник поляризующего тока (анодную станцию).

Механизм анодной защиты металлической конструкции от коррозии с помощью анодной станции состоит в том, что при протекании электрического тока через границу защищаемого металла с коррозионной средой поверхность защищаемого металла поляризуется анодно, ее потенциал увеличивается, что может приводить к почти полному прекращению коррозионного разрушения, благодаря переходу металла в пассивное состояние (см. **Приложении 3**). При этом не важно, что является источником поляризующего тока на этой границе – анодная станция или протектор (катодный). В первом случае для обеспечения поляризации защищаемой конструкции в систему должен быть включен вспомогательный электрод – катодный заземлитель (см. **Приложении 4**), на поверхности которого при этом протекает катодный процесс, который обычно не приводит к растворению заземлителя. Однако это имеет место только в случае правильного выбора материала для данной коррозионной среды. В противном случае катодный заземлитель необходимо периодически возобновлять. Для уменьшения расходов, связанных с заменой катодных заземлителей, для их изготовления используют малорастворимые или нерастворимые при катодной поляризации материалы.

При правильном применении этого способа защиты коррозия металла защищаемой конструкции в электролите значительно уменьшается. Это возможно, если при присоединении к поляризующей цепи потенциал металла достигает значения его полной пассивности (см. поляризационную диаграмму в **Приложении 3**).

Эффективность электрохимической защиты металлов от коррозии, так же как и других методов противокоррозионной защиты, принято характеризовать *величиной защитного эффекта* и *коэффициентом защитного действия*. Эти показатели зависят от электрохимических характеристик: бестокового электродного потенциала, критического тока, тока полной пассивности, поляризуемости, величины поверхности, стабильности работы во времени и др. Формулы для расчета этих показателей приведены в **Приложении 8**).

Метод защиты с помощью анодной станции — эффективный и экономически выгодный метод защиты металлических конструкций от коррозии во многих агрессивных средах химической промышленности. Но в кислых средах, содержащих активирующие анионы, которые могут препятствовать пассивированию металла, применение анодной защиты невозможно. Важно также учитывать возможность усиления локальных разрушений некоторых элементов конструкций, которые могут быть следствием неравномерного распределения поляризующего тока по поверхности защищаемой конструкции.

Анодную электрохимическую защиту широко применяют как мощное средство защиты материалов конструкций, находящихся в контакте с искусственными коррозионными средами. При практической реализации системы анодной электрохимической защиты пользуются разработанной проектной и эксплуатационной нормативно-технической документацией (см. приложения).

3.2. Аппаратура и методика работы

Зачищают наждачной бумагой два стальных пластинчатых образца (толщиной 0,5 мм и рабочей поверхностью порядка 25 см²) из углеродистой или низколегированной стали (по указанию преподавателя), очищают их, протирая фильтровальной бумагой или ватой, смоченными органическим растворителем. Приготовленные образцы - электроды электрохимической системы помещают в прямоугольную ячейку и собирают электрическую цепь в соответствии с рис.1. Потенциостат П5827 или П5848 используют для гальваностатической поляризации электродов в ячейке, моделирующей систему анодной электрохимической защиты. Вначале проводят поляризационные измерения на основном (защищаемом) электроде, а затем на вспомогательном. Измерения начинают при разомкнутой цепи, продолжают их при постепенном возрастании поляризующего тока (гальваностатический режим).

Измерения на основном электроде проводят, изменяя поляризующий ток сначала в прямом (увеличивая ток), а затем

изменяя его в обратном направлении. Все значения поляризующего тока, потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке, измеренные в соответствии с рис.1, заносят в таблицу и используют в дальнейшем для построения поляризационной диаграммы (с использованием графопостроителя пакета *Excel*) изучаемого объекта (пример диаграммы см. в **Приложении 6**).

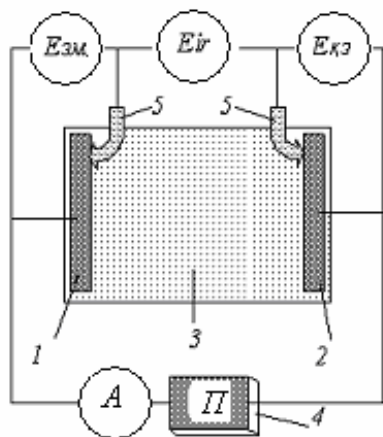


Рис. 1. Схема установки для измерения параметров системы защиты стали от коррозии с помощью внешнего источника поляризующего тока: 1 и 2 —защищаемый металл и катодный заземлитель в системе анодной защиты, 3-электролит, 4-потенциостат, А — амперметр, Ez, Ekz и Eir — вольтметры для измерения потенциалов электродов и падения напряжения в межэлектродном промежутке с использованием электродов сравнения 5.

На анодной поляризационной кривой, благодаря «проходу» в прямом и обратном направлениях, удастся наблюдать области активного (при прямом ходе) и пассивного состояния (при обратном ходе). В области пассивности выбирают потенциал, который определяет рабочий режим анодной защиты объекта.

Потенциалы электродов и падение напряжения в межэлектродном промежутке измеряют с использованием лабораторных электродов сравнения (*х.с.э.*) и предназначенного для этой цели блока потенциостата П5827 или П5848.

После завершения измерений электрическую схему разбирают, споласкивают электроды водой и сушат фильтровальной бумагой.

3.3. Обработка опытных данных

Для решения второй части учебной задачи - *расчета некоторых важных параметров технического объекта на основе*

результатов проведенного моделирования, используя полученные данные, строят поляризационную диаграмму объекта с заданными (преподавателем) геометрическими характеристиками и находят на диаграмме требуемые электрические характеристики: поляризующий ток и напряжение на клеммах источника поляризующего тока, его номинальную мощность. Может быть поставлена задача определения электрохимических параметров (плотности поляризующего тока и потенциала) защищаемой конструкции и катодного заземлителя при выбранном (заданном) режиме работы источника поляризующего тока. В этом случае в задании указываются геометрические параметры системы и напряжение на клеммах источника тока.

В выводах кратко суммируют результаты проведенных измерений и моделирования и дают оценку эффективности анодной защиты стали от коррозии в исследуемом электролите.

Рекомендуемая литература указана в **Приложении 7**.

Контрольные вопросы

1. Покажите, как на основе проведенных измерений определить параметры режима анодной защиты.
2. Покажите, как на основе проведенных измерений определить удельное сопротивление электролита.
3. Продемонстрируйте, как на основе проведенных измерений построить поляризационную диаграмму технического объекта с заданными геометрическими параметрами.
4. Представьте и прокомментируйте принципиальную схему анодной защиты технического объекта (хранилища амводы, автомобильной или железнодорожной цистерны для перевозки амводы и т.п.).
5. Проанализируйте конструкции катодных узлов, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для деталей.
6. Проанализируйте конструкции узлов электродов сравнения, укажите назначение элементов конструкций, обоснуйте выбор материалов для деталей.
7. Покажите, как влияет выбор положения электрода сравнения в межэлектродном пространстве на режим работы системы защиты.
8. Продемонстрируйте, как определить на ПД-портрете напряжение на клеммах источника тока при заданном значении защитного потенциала.
9. Покажите на ПД-портрете, как влияет сопротивление электролита на напряжение на клеммах источника поляризующего тока.
10. Покажите на чертежах катодного узла и узла электрода сравнения детали, которые обеспечивают изолированный ввод этих элементов системы анодной защиты внутрь корпуса защищаемого объекта.

Справочные приложения

Приложение 1. Принципиальная схема анодной защиты технического объекта.

Анодную защиту (рис. П1-1) можно применять только в жидкой фазе и, естественно, в электропроводной среде. В защищаемом аппарате 1 катод 2 и электрод сравнения 3 должны располагаться таким образом, чтобы они постоянно находились в растворе; при этом необходимо учитывать «рассеивающую способность пассивности», т.е. протяженность области устойчивой пассивности. Необходимо, чтобы к защищаемому аппарату был подключен надежно работающий регулятор потенциала 4. Материал аппарата должен пассивироваться в данной среде. Емкость по возможности должна быть полностью заполнена раствором, не должно быть воздушных пространств и карманов, большого колебания уровня; поэтому периодически работающие аппараты неудобны, так как требуют периодической пассивации. Конструкция должна быть без заклепок и с минимальным числом щелей и уплотнений; сварка должна быть качественной; аппараты должны быть простыми по форме, хотя возможна защита сложного оборудования.

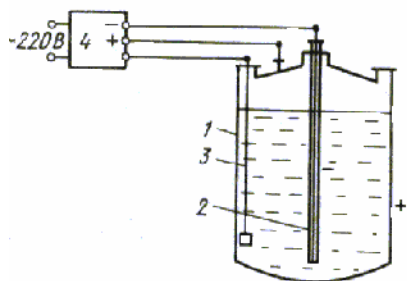


Рис. П1-1. Схема анодной защиты технического объекта:

1 — защищаемый технический объект (анод); 2 — катод; 3 — электрод сравнения; 4 — источник питания, регулируемый по потенциалу защищаемого объекта.

Некоторые инженерные решения в системе анодной защиты

Ниже приведен перечень примеров (по Кузубу В.С.) удачного применения анодной защиты от коррозии в промышленности технологического оборудования, изготовленного из углеродистой, нержавеющей сталей и титана:

1. Анодная защита теплообменников из стали 12X18H10T в концентрированной серной кислоте.
2. Анодная защита сборников гидроксиламинсульфата.
3. Анодная защита мерников серной кислоты.
4. Анодная защита хранилищ серной кислоты.
5. Анодная защита турбохолодильника серной кислоты.
6. Анодная защита теплообменной аппаратуры.
7. Анодная защита кожухотрубчатых холодильников.
8. Анодная защита автомобильной цистерны для серной кислоты.
9. Анодная защита железнодорожных цистерн для особо чистой серной кислоты.
10. Анодная защита кисловочных ванн в текстильной промышленности.
11. Анодная защита теплообменников из титана в производстве искусственного волокна.
12. Анодная защита в целлюлозно-бумажной промышленности.
13. Анодная защита в технологической линии выпаривания раствора NaCNS.
14. Анодная защита ванн химического никелирования.

При их реализации отработаны конструкции отдельных узлов системы защиты. С использованными при этом инженерными решениями можно познакомиться в рекомендованной литературе (см.

Приложение 7)

Приложение 2. Практика применения анодной электрохимической защиты оборудования, контактирующего с аммиачными средами.

Проблема хранения и транспортирования жидких удобрений связана со значительной коррозионной активностью этих растворов. Защита от коррозии больших хранилищ с помощью лакокрасочных покрытий или футеровки, замена углеродистой стали алюминием или нержавеющей сталью

нецелесообразны и экономически невыгодны. Применение ингибиторов практически малоэффективно. Поэтому применение анодной защиты углеродистой стали в аммонийно-аммиачных средах считается одним из эффективных методов защиты от коррозии, позволяющих использовать оборудование из относительно дешевой углеродистой стали.

Анодная защита хранилищ из углеродистой стали для хранения жидких удобрений

Жидкие азотные удобрения, содержащие аммиачную селитру (состав, %: NH_4NO_3 45; $CO(NH_2)_2$ 15; $(NH_4)_2CO_3$ 14; NH_3 1,5 и H_2O 24,5) характеризуются высоким содержанием азота, низким давлением паров. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими жидкими удобрениями. Хранилища удобрений и цистерны, необходимые для транспортировки, обычно изготавливают из углеродистой стали, скорость коррозии которой в данной среде велика: при 25,35 и 40°C она составляет соответственно 2,5; 4 и 5 $г/(м^2 \cdot ч)$.

Эксперименты по проверке эффективности анодной защиты в промышленных условиях хранения данного вида удобрений были проведены Кузубом В.С. и сотр.

Испытывали два одинаковых хранилища, изготовленные из углеродистой стали, емкостью по 3 $м^3$, с общей поверхностью защищаемого металла 10 $м^2$. Одно хранилище подвергалось анодной защите, другое (контрольное) находилось без защиты. Стационарный потенциал обоих хранилищ перед испытанием составлял -0,1 В; это значение потенциала соответствовало верхнему пределу пассивной области. Хранилище, подвергаемое анодной защите, заполняли раствором постепенно. Пассивация осуществлялась от выпрямителя ВСА-5. При снижении силы защитного тока до 1 А перешли на автоматическое регулирование потенциала. После полного заполнения хранилища раствором был установлен защитный потенциал 0,35 В. Образцы, завешенные для контроля в емкость, находящуюся под защитой, не корродировали. Внешний вид их не изменился. Раствор оставался бесцветным. Обследование состояния внутренней поверхности хранилища без защиты и анодно защищенного подтвердило данные коррозионных испытаний.

Для исследования состояния внутренней поверхности емкостей в хранилищах были вырезаны окна. Поверхность емкости, находящейся под анодной защитой, как и контрольных образцов, после окончания испытаний была чистой, гладкая, без следов коррозии. Сварной шов сохранил первоначальный вид. Поверхность емкости без защиты была покрыта продуктами коррозии, сварной шов сильно разъеден, по его линии наблюдалось много течей.

Таким образом, хранилище из углеродистой стали, наполненное углеаммиаком с аммиачной селитрой, без анодной защиты корродирует со средней годовой скоростью 1,8 мм/год. Анодно защищенные образцы корродируют с максимальной скоростью $3 \cdot 10^{-4}$ мм/год, т.е. анодная защита позволяет уменьшить скорость коррозии в 6000 раз. Это позволило применять анодную защиту хранилищ аммиачной воды емкостью 10000 м³, 3000 м³, а также прирельсовых складов емкостью 2000 м³, 400 м³ в регионах.

На рис. П2-1 показана схема анодной защиты автомобильных цистерн, обеспеченных анодной защитой, которые могут применяться для транспортировки аммиачной воды.

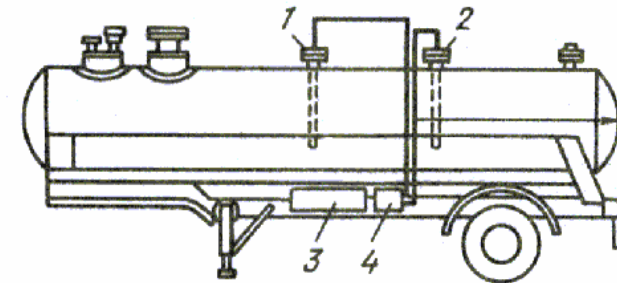


Рис. П2-1. Анодная защита автомобильных цистерн:

1 — катод; 2 — электрод сравнения; 3 — комплект батарей; 4 — регулятор потенциала

Анодная защита железнодорожных цистерн для перевозки азотных удобрений

В США провели крупномасштабный эксперимент на 176 цистернах из углеродистой стали емкостью 38 м^3 , использовавшихся для перевозки азотных удобрений наиболее распространенного состава (16,6 % NH_3 , 66,8 % NH_4NO_3 и 16,6 % H_2O). Система анодной защиты состояла из катода (нержавеющая сталь или хастеллой), электрода сравнения, регулятора потенциала периодического действия с источником питания из трех батарей на 12 В (емкость каждой $200 \text{ А} \cdot \text{ч}$).

Схема анодной защиты железнодорожных цистерн, обеспеченных анодной защитой показана на рис. П2-2.

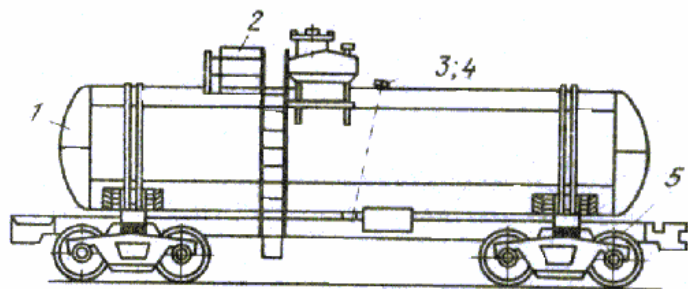


Рис. П2-2. Анодная защита железнодорожных цистерн:

1 — котел; 2 — ящик для источника тока; 3 — узел катода; 4 — штуцер электрода сравнения; 5 — платформа

Во избежание взрыва при разгрузке и загрузке удобрений применяли безопасный переключатель, который автоматически отключал ток, когда крышка цистерны поднималась. Одновременно испытывали ингибиторы. Скорость коррозии незащищенных образцов углеродистой стали колебалась от 0,2 до 5,8 мм/год. При концентрации бихромата натрия 0,1 % (по массе) обеспечивается полная защита от коррозии. При такой же концентрации роданида аммония эффект защиты составляет 79 %. Использование анодной защиты позволило уменьшить скорость коррозии на 90 %.

В присутствии анодных ингибиторов, таких как хроматы и нитраты, при определенных концентрациях существует опасность питтинговой и целевой коррозии в присутствии хлор-ионов. Интересно, что анодно защищенные образцы не корродировали в газовой фазе. При полевых испытаниях не обнаружена коррозия на границе жидкость-пар.

Как показали полевые испытания, среднее содержание железа в анодно защищенных цистернах составляло 127 мг/л при среднем разгрузочном интервале 15 дней, т.е. содержание железа увеличивается на 8,5 мг/л в день. Среднее содержание железа в цистернах без защиты составляло 1945 мг/л за 15 дней или 130 мг/л в день. Таким образом, эффект защиты составляет 93,5 %.

Экономические расчеты показали, что годовая стоимость железнодорожной цистерны из углеродистой стали с анодной защитой составляет 1075 долл., т.е. половину стоимости цистерны из алюминия. Анодная защита одной железнодорожной цистерны из углеродистой стали позволяет ежегодно экономить от 905 до 1565 долл., защита 150 цистерн - 135700 долл.

Анодная защита оборудования для производства углеаммонийных солей.

В действующих производствах углеаммонийных солей (УАС) конструкционным материалом является сталь 12Х18Н10Т, что существенно повышает стоимость продукта. Процесс получения углеаммонийных солей заключается в абсорбции газообразного аммиака и углекислого газа водным раствором карбоната аммония. Основные аппараты производства — абсорбер, сатуратор, декантатор — представляют собой емкости с коническими днищами. Процесс идет при температуре не более 50°С.

Исследовано коррозионное и электрохимическое поведение некоторых нержавеющей (12Х18Н10Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х22Н6Т, 03Х13АП9, 12Х13) и углеродистой (Ст3) сталей в рабочих растворах различных стадий производства УАС. Хромоникелевые стали 12Х18Н10Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х22Н6Т и 03Х13АП9 являются стойкими материалами на всех стадиях производства УАС. В стационарных условиях они в электрохимическом отношении пассивны, область активного растворения на

поляризационных кривых отсутствует, свидетельствуя об их высокой коррозионной стойкости, что дает основание рекомендовать стали с пониженным содержанием никеля в качестве конструкционного материала взамен стали 12Х18Н10Т.

Скорость коррозии сталей Ст3 и 12Х13 увеличивается с ростом степени карбонизации раствора. Агрессивность аммиачной воды в присутствии CO_2 возрастает. Скорость коррозии стали Ст3 в углеаммонийных средах при комнатной температуре достигает 0,5 мм/год. Повышение температуры существенно интенсифицирует коррозию. Лабораторные исследования показали эффективность применения анодной защиты для углеродистой стали (99,9 %). Скорость коррозии анодно защищенного образца уменьшается более чем в 1700 раз и составляет 0,001 мм/год. Такую же скорость коррозии имеют нержавеющие стали, однако даже мельчайшие примеси солей хрома и тяжелых металлов в УАС неприемлемы при использовании их в пищевой промышленности и в качестве консервантов в сельском хозяйстве.

В промышленности анодная защита аммонизатора применена в 1969 г. в Китае. Кузуб В.С. сообщил о своих полупромышленных испытаниях двух сборников из Ст3.

Для облегчения пассивации сборников использовали метод ступенчатой пассивации. В начале пассивации раствор заливали в емкость в количестве, необходимом для создания контакта с катодом. После этого задавали необходимый для анодной защиты потенциал и производили постепенное заполнение емкости раствором. Испытания вели в растворах следующих составов, г/л: в первом сборнике - $(NH_4)_2CO_3$ 350: NH_3 5,6; во втором сборнике - $(NH_4)_2CO_3$ 440: NH_3 9,6. Для контроля скорости коррозии под анодной защитой в сборники завешивали образцы углеродистой стали, имеющие электрический контакт с емкостью и расположенные как в газовой, так и в жидкой фазе. На обоих сборниках был задан защитный потенциал +0,5 В, который поддерживали импульсами поляризующего тока силой 4 А. Для сборника с нерастравленной поверхностью регулятор потенциала периодического действия включался через 90 мин., а с сильно растравленной поверхностью - через 10 - 13с, что свидетельствует

о том, что на нерастравленной поверхности пассивный слой легче формируется в течение 2 мес., после чего образцы из стали 3, завешенные в защищаемую емкость, показали отсутствие коррозии ($K < 0,0005 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$). Без защиты образцы корродировали в данной среде в аналогичных условиях со скоростью $0,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Фотоколориметрический анализ среды в процессе испытания показал отсутствие растворения стали; содержание железа в сборниках за период двухмесячного испытания под анодной защитой не увеличилось. В отличие от данных, полученных в лаборатории, где без защиты в новой фазе имела место коррозия ($0,35 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$), при полупромышленных испытаниях анодной защиты сборников коррозия образцов углеродистой стали отсутствовала и в газовой фазе, что, вероятно, связано с распространением на поверхности пассивной пленки. Анодная защита сборников позволила снизить коррозию более чем 100 раз, что составило эффективность защиты 99,8 %. После отключения анодной защиты потенциал сборника с растравленной поверхностью смещался к отрицательным значениям и через 3 ч достигал области активного растворения. Пассивация сборника с нерастравленной поверхностью и после отключения защиты сохраняется значительно дольше. Потенциал поверхности сборника смещался от +0,5 до +0,2 В, однако области активного растворения за время испытания более 3 мес так и не достигал. Состояние поверхности защищаемого объекта оказывает большое влияние и на процесс пассивации, и на сохранение пассивности в случае отключения анодной защиты.

Приложение 3

Поляризационная диаграмма системы анодной защиты

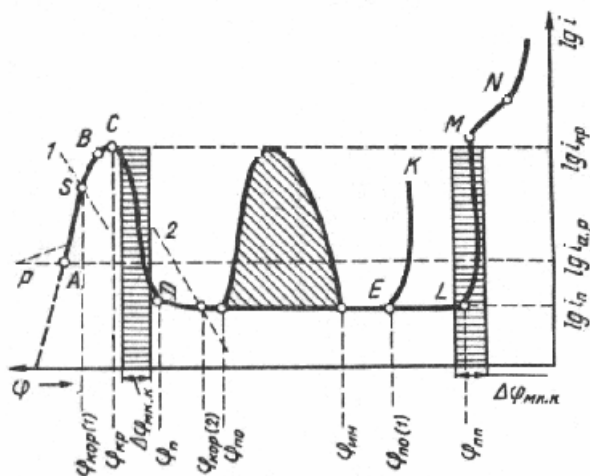


Рис.П3. Зависимость логарифма плотности поляризующего тока от потенциала для пассивирующегося металла

Обобщенная анодная потенциостатическая кривая зависимости логарифма плотности тока (i) от потенциала (φ) для пассивируемого металла показана на рис.П3. Участок AB на кривой соответствует области активного растворения, для которой характерна тафелева зависимость скорости растворения от потенциала. В активной области и в области более отрицательных потенциалов при определенных условиях имеется область аномального растворения PS , где скорость растворения $I_{a p}$ не зависит или мало зависит от потенциала.

При потенциалах более положительных, чем потенциалы в точке B начинается пассивация металла. Точке C соответствуют критический потенциал φ_k и плотность тока пассивации $i_{кр}$. В переходной области CD происходит пассивация поверхности

металла. Отрезок DL соответствует области устойчивой пассивности, а φ_n и i_n являются потенциалом и плотностью тока полной пассивации.

При значениях потенциала более положительных, чем потенциал перепассивации $\varphi_{пер}$ находится область перепассивации LM , где металл растворяется с образованием ионов высшей валентности. При более положительных потенциалах находится область вторичной пассивности MN и далее область окисления гидроксид-ионов с выделением кислорода.

В определенных условиях, которые рассмотрены ниже, при достижении потенциала питтингообразования φ_{no} (1) пассивность нарушается и на поверхности образуются питтинги (рис. П2-2, участок EK). В присутствии NO_3^- и других анионов область питтингообразования может быть ограничена с двух сторон потенциалами E_{no} (2) и $\varphi_{ин}$ (ингибирования). На участке кривой CD ($\varphi_{мк-к}$), а также в области перепассивации LM ($\varphi_{m,n}$) может протекать межкристаллитная коррозия.

Основным критерием, характеризующим состояние поверхности металла при анодной защите, является его электродный потенциал в данной среде. Анодные потенциостатические кривые дают основную информацию о возможности и целесообразности применения этого метода.

Приложение 4

Инженерные решения для отдельных узлов системы анодной защиты.

Узлы электродов сравнения.

Контроль основного параметра защиты — защитного потенциала осуществляется с помощью стационарных и подвесных электродов сравнения. Они также служат датчиками потенциала в автоматических системах анодной защиты. Известны различные по природе и техническим характеристикам электроды сравнения. Общими требованиями к ним являются - стабильность потенциала во времени и при изменении внешних факторов для регулирования и поддержания с заданной точностью

необходимого защитного потенциала металлоконструкций. Электроды сравнения различают стационарные, устанавливаемые для постоянного использования в системе защиты и переносные, предназначенные для периодического контроля значения потенциала. Среди них наибольший интерес представляют хлорсеребряные электроды сравнения с пористым измерительным элементом в виде прессованных брикетов из смеси серебра и хлористого серебра. Они отличаются высокой надежностью в работе и достаточной стабильностью потенциала.

Пример промышленной конструкции хлорсеребряного электрода сравнения, приведен на рис. П4-1. Электрод состоит из фторопластового корпуса 1, внутри которого находится серебряная проволока 2 диаметром 1×10^{-3} м и длиной 5×10^{-2} м. Свободный объем электрода заполнен асбестовой ниткой и залит насыщенным при 100°C раствором CaCl_2 (3). Снизу отверстие электрода закрыто фторопластовой пробкой 4, имеющей резьбу. Контакт с пульпой осуществляется через асбестовую прокладку 5 между корпусом электрода 1 и пробкой 4. Сверху корпус электрода имеет резьбу, которой соединяется с трубкой из сплава 06ХН28МДТ.

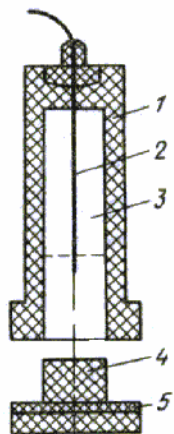


Рис. П4-1. Электрод сравнения системы анодной защиты:

1- фторопластовый корпус, 2- серебряная проволока, 3- свободный объем электрода, заполненный асбестовой ниткой и залитый насыщенным при 100°C раствором CaCl_2 , 4- фторопластовая пробка, 5- асбестовая прокладка.

При разработке конструкций узлов для стационарно устанавливаемых электродов сравнения решается еще одна важная задача: они должны обеспечить герметичный изолированный ввод электрода сравнения в электрохимическую систему. Одно из решений показано на рис. П4-2.

Узлы вспомогательных электродов – катодов. При конструировании катодных узлов необходимо обеспечить

герметичный изолированный ввод их (поляризуемых) рабочих частей в электролит внутри защищаемого аппарата. Важно также обеспечить длительную _____ безаварийную работу катодов, являющуюся условием надежности работы объекта техники. Катодами могут быть металлические стержни, платиновая проволока, навитая на инертный материал. В качестве изоляционного материала чаще всего применяют тефлон.

Примеры конструкций таких узлов приведены на рис. П4-3, П4-4 и П4-5.

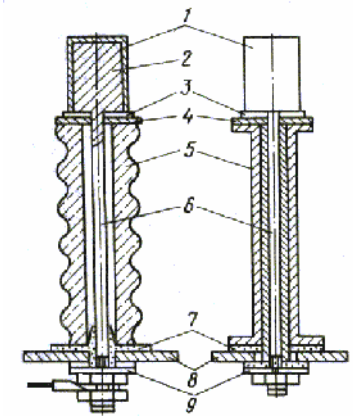
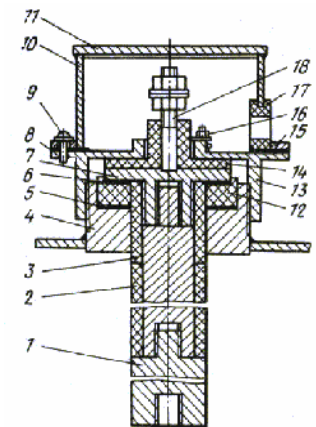


Рис. П4-3. Схема катода в промышленной установке для анодной защиты: 1 — платиновое покрытие; 2 — латунный сердечник; 3 — платиновый диск; 4,7 — тефлон; 5 — керамическая опора; 6 — латунный стержень; 8 — корпус аппарата; 9 — латунная шайба.

Рис. П4-4. Конструкция наборного катода в промышленной установке для анодной защиты.



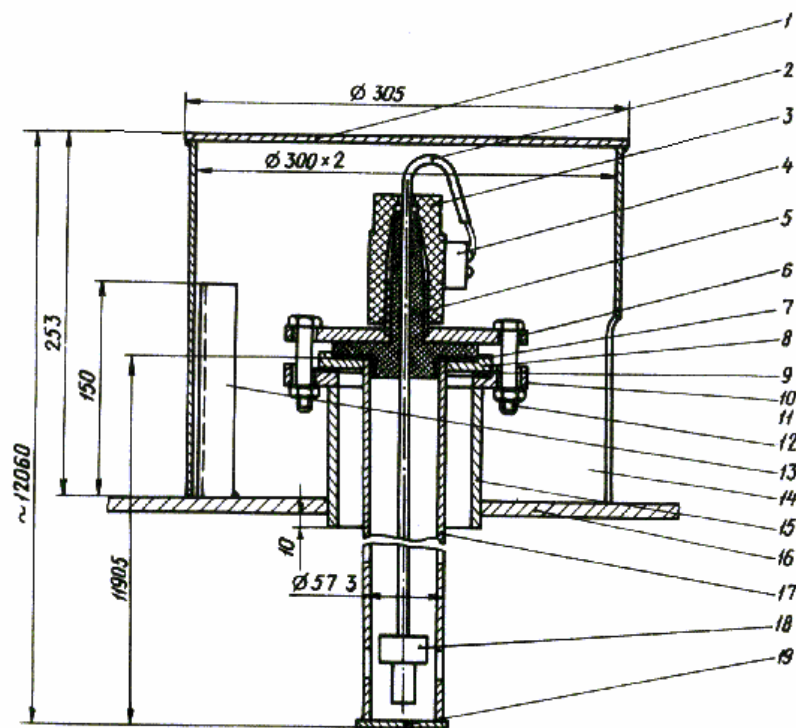


Рис. П4-2. Узел электрода сравнения хранилища амводы:

1 - кожух для защиты от атмосферных и механических воздействий;
 2 - вывод электрода сравнения; 3 - накидная гайка (текстолит); 4 - клеммник для подключения кабеля; 5 - штуцер вывода электрода сравнения (текстолит); 6 - фланец верхний (I2X18H10T); 7 - прокладка (патонит, резина); 8 - прокладка (текстолит); 9 - прокладка (паронит, резина); 10 - фланец штуцера верхний (I2X18H10T); 11 - болт; 12 - гайка; 13 - стойка установочная; 14 - обечайка кожуха; 15 - штуцер (I2X18H10T); 16 - крыша хранилища; 17 - кожух электрода сравнения (I2X18H10T); 18 - электрод сравнения; 19 - днище кожуха электрода сравнения

Узел наборного катода состоит из бобышки 4, в верхней части которой имеется резьба для крепления фланца 13. Нижняя часть бобышки сварена в технологический аппарат. Катод 1 состоит из нескольких частей, соединенных между собой и прикрепленных к

фланцу катода 7. Катод изолирован от технологического аппарата втулками 2 и 3 и изоляторами 12 и 14. Герметичность обеспечивается прокладками 5 и 6. Крышка, состоящая из обечайки 10, днища 11 и закрепляющей обечайки 15, крепится к фланцу 13 винтами 9. Для подключения кабеля в верхней части узла установлены шпилька 18 и болт 16, приваренный к фланцу 13. Для ввода кабеля в обечайке 10 предусмотрено отверстие, в которое вставлена вводная втулка 17. Эта втулка и прокладка 8 обеспечивают герметичность крышки катода, защищают места крепления кабеля от попадания влаги, агрессивных веществ и др. Наборный катод дает возможность изменять его длину до заданной. На рис. П4-5 показана конструкция узла, обеспечивающая возможность горизонтального и вертикального расположения катода в технологическом аппарате и замены катодов при ремонтных работах.

Катодом 20 служит труба, отделяемая от защищаемого аппарата изоляторами 12 и 9, кольцами 19 и втулкой 7. Резиновые прокладки 11 и 13 обеспечивают герметичность. Катод крепится к защищаемому аппарату штуцером 18 и фланцами 8, 10, 15. Крышка, состоящая из обечайки 2 и днища 1, крепится к нижнему фланцу 15 винтами 14 и шайбами 5 и 6. Для предотвращения самоотвинчивания винтов и гаек установлены прижимные шайбы 16,17. Шпильки 3 и 4 предназначены для подключения кабеля. Катод установлен на расстоянии $2 \cdot 10^{-1}$ м от днища аппарата. В нижней части катода находится фиксатор 21, который входит в штуцер 22, приваренный к днищу аппарата 23. Фиксатор не позволяет нижней части катода колебаться при любой его длине. В нижнем и верхнем фланцах имеются отверстия для ввода кабеля.

Приложение 5

Расчет эффективности анодной защиты.

Для предотвращения самоотвинчивания винтов и гаек установлены прижимные шайбы 16,17. Шпильки 3 и 4 предназначены для подключения кабеля. Катод установлен на расстоянии $2 \cdot 10^{-1}$ м от днища аппарата. В нижней части катода находится фиксатор 21, который входит в штуцер 22, приваренный к днищу аппарата 23. Фиксатор не позволяет нижней части катода колебаться при любой его длине. В нижнем и верхнем фланцах имеются отверстия для ввода кабеля.

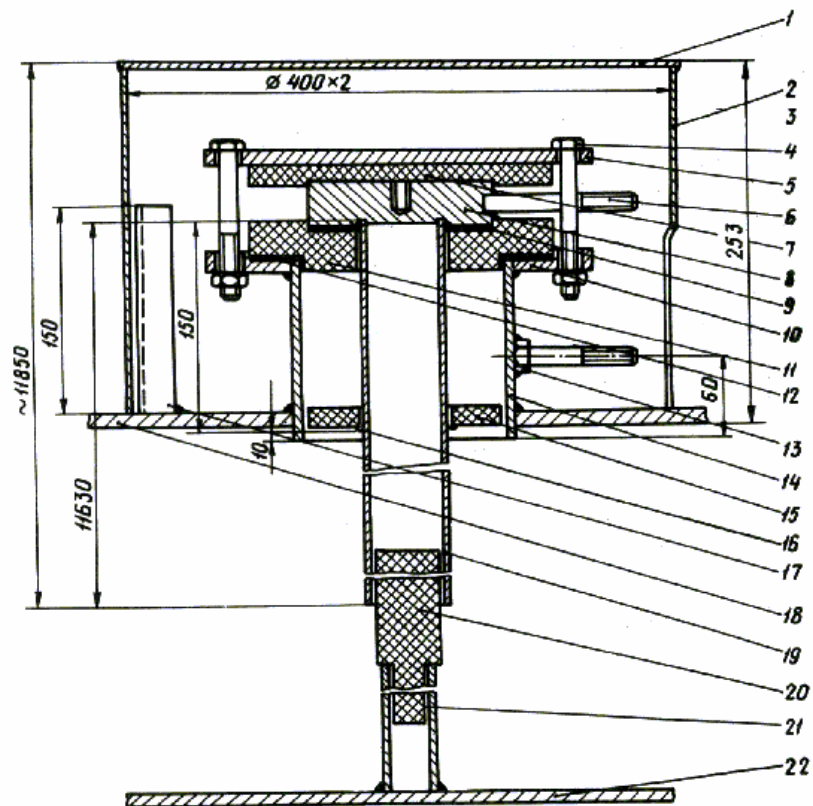


Рис. П4-5 Узел катода хранилища амводы: 1 - кожух для защиты от атмосферных и механических воздействий; 2 - обечайка кожуха; 3 - болт (шпилька); 4 - гайка; 5 - фланец верхний (X18H10T); 6 - шпилька для подключения кабеля (X18H10T); 7 - прокладка изолирующая верхняя (текстолит)- 8 - фланец катода (X18H10T); 9 - прокладка уплотнительная (паронит, резина); 10 - фланец штуцера (X18H10T); 11 - прокладка изолирующая (текстолит); 12 - прокладка уплотнительная (паронит, резина); 13 -- шпилька для подключения кабеля (X18H10T); 14 - штуцер; 15 -кольцо центрирующее (текстолит); 16 - кольцо стопорное (X18H10T); 17 - стойка установочная; 18 крышка хранилища; 19 -катод (X18H10T); 20 - фиксатор (фторпласт); 21 - втулка фиксатора (X18H10T); 22 - днище хранилища.

Приложение 6

Поляризационная диаграмма лабораторной модели системы катодной защиты стальной конструкции с использованием заземлителя из стали.

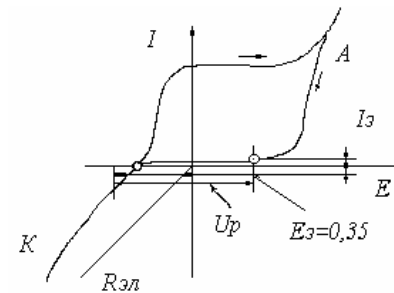


Рис. П7-2 Принципиальная схема расчета рабочих параметров системы анодной защиты с использованием результатов поляризационных измерений на лабораторной ячейке. A и K – анодная и катодная поляризационные кривые, $R_{эл}$ – сопротивление межэлектродного промежутка, U_p – напряжение на клеммах источника поляризующего тока, $I_p = I_z$ – рабочий ток источника, равный защитному току при потенциале 0,35 В. Стрелками показаны направления изменения тока и потенциала при поляризационных измерениях на участках анодной кривой.

Приложение 7. Рекомендуемая литература

1. Кузуб В.С. Анодная защита металлов от коррозии. –М.: Химия, 1963.-182с.
2. Кузуб В.С. Анодная защита технологического оборудования. –М.: Металлургия, 1989.-97с
3. Люблинский Е.Я. В.С. Электрохимическая защита от коррозии. –М.: Металлургия, 1987.-97с
4. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Пассивность и защита металлов от коррозии. – М.: Наука, 1960.-206с
5. Руководящие указания (инструкция) по применению анодной электрохимической защиты технологических аппаратов от коррозии. –М.: Минхимпром СССР, 1977.-33с