

Джаббаров Шахаддин Нураддинович

инженер-технолог по термической обработке

ООО «НПФ Завод «Измерон»

г. Санкт-Петербург

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОМПЛЕКСОВ ПОДЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

***Аннотация:** в данной статье автором проанализированы причины коррозионных отказов подземного оборудования скважин при добыче нефтепродуктов, а также рассмотрены имеющиеся мероприятия по снижению негативных последствий коррозионного воздействия.*

***Ключевые слова:** коррозионный процесс, ущерб от коррозии, химическая коррозия, электрохимическая коррозия, нефтепромысловое оборудование, защита комплексов, подземное оборудование, протекторная защита от коррозии, металлопластмассовые трубы, защитные полимерные покрытия.*

При добыче нефтепродуктов все компании сталкиваются с коррозией подземного оборудования. Известен тот факт, что оборудование наземное имеет больший срок эксплуатации, чем подземное. Подземное оборудование, как правило, становится непригодным и выходит из строя в первый год эксплуатации, и причиной этому зачастую служит именно коррозия.

С увеличением сроков эксплуатации внутрискважинного оборудования значимость фактора коррозии среди причин отказов ГНО повышается. Решению этой проблемы во многих компаниях уже сегодня уделяется внимания не меньше, чем традиционной проблеме коррозионного разрушения наземного оборудования. Представители добывающих компаний отмечают рост доли коррозионного фонда и процента отказов внутрискважинного оборудования, связанных с коррозией.

Фундаментом для разработки мер и планирования мероприятий по борьбе с коррозией служит всестороннее теоретическое изучение этого процесса, включая классификацию видов и анализ причин возникновения. К основным методам борьбы с коррозией ГНО сегодня принадлежат специальные защитные покрытия, ингибиторы, протекторная, электрохимическая защита, оборудование в специальном антикоррозионном исполнении. В компаниях ведется разработка и внедрение комплексных программ по борьбе с коррозией, которые предполагают сочетание различных методов в соответствии со спецификой коррозионного фонда.

В добыче и переработке нефтепродуктов одной из важных проблем стоит коррозия металла комплексов подземного оборудования.

Износ оборудования является одним из значительных факторов опасности, влияющих на состояние промышленной безопасности, возникновение отказов, разгерметизации трубопроводов, приводящих к авариям, сопровождающимся разливами нефти, взрывами и разрушениями.

Главной и основной причиной аварий является коррозия металла.

Коррозией называется процесс разрушения материалов в результате взаимодействия с агрессивной средой. При этом в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой происходит потеря их эксплуатационных свойств. Нередко под коррозией подразумевается лишь процесс разрушения металлов, что не совсем правильно, так как понятие коррозии применимо и к неметаллам. Тем не менее механизмы и кинетика коррозионных процессов для металлов и неметаллов будут различными.

Коррозия металлов представляет собой разрушение их поверхности в результате химического или электрохимического взаимодействия с агрессивной средой. Термодинамически коррозия металлов возможна в случае, если в результате коррозионного процесса уменьшается свободная энергия системы.

В мире коррозия ежегодно приводит к миллиардным убыткам, причем основной ущерб, причиняемый ею, заключается не в потере металла как такового

(в мире до 20% металла в год уходит именно в коррозионные отходы), а в разрушении дорогостоящих изделий и оборудования. Еще больший ущерб наносят косвенные потери при простоях оборудования при замене прокорродировавших деталей и узлов, утечке нефти и газа, нарушении технологических процессов. Убытки от коррозии, таким образом, нельзя сводить лишь к прямым потерям – стоимости разрушившихся конструкций, замены оборудования и затратам на мероприятия по защите от коррозии.

В США, по данным NACE, ущерб от коррозии, включая затраты на борьбу с ней, составляют 3,1% ВВП (\$276 млрд в год), в Германии – 2,8% ВВП. В пределах 2–4% ВВП находится этот показатель и в других развитых странах. При этом потери металла, включающие вышедшие из строя металлические конструкции, изделия, оборудование, составляют 10–20% годового производства стали.

В нашей стране нет официальной статистики, которая бы отражала экономический ущерб от коррозии, но, по некоторым оценкам, он составляет не менее 5% от ВВП. Это значит, что объем продукции, эквивалентный годовому производству, к примеру, Новолипецкого металлургического комбината, ежегодно тратится только на восполнение черного металла, пораженного коррозией.

Рассмотрим, какая же имеется классификация коррозии.

Самый распространенный вид коррозии – ржавчина, но коррозия и ржавчина – не синонимы. Есть и другие виды коррозии, которые не менее, а порой и более пагубны для нефтегазового оборудования, в частности, так называемая щелевая коррозия и коррозия под напряжением.

Коррозионные процессы отличаются широким распространением и разнообразием условий и сред, в которых они протекают. Сегодня каждая научная область – физика, химия, биология – классифицирует коррозионные процессы, основываясь на собственных научных позициях, а единой, всеобъемлющей и общепризнанной классификации коррозии пока не создано.

На наш взгляд, лучше всего рассматривать процесс коррозии с точки зрения физико-химической механики, так как она максимально объединяет научные течения, что, в свою очередь, дает возможность получить наиболее полную картину видов коррозии.

Химическая коррозия. По механизму протекания процесса различают химическую и электрохимическую коррозию. Химическая коррозия представляет собой взаимодействие поверхности металла с коррозионноактивной средой, не сопровождающееся возникновением электрохимических процессов на границе фаз.

По природе коррозионной среды различают коррозию в кислородсодержащих или серосодержащих газах, водородную, ванадиевую, галогенидную коррозию, коррозию в расплавах серы и других неметаллах.

Эти виды коррозии проявляются в случае, если коррозионная среда не является электропроводной, то есть когда металл соприкасается с газами при высоких температурах и конденсация влаги на поверхности металла исключается. Поэтому при подборе материалов, пригодных для эксплуатации в условиях газовой коррозии, следует сочетать их устойчивость к окислению (жаростойкость) с высокой прочностью при повышенных температурах (жаропрочность).

Коррозия в кислород и серосодержащих средах. Кислородсодержащие газы вызывают снижение поверхностной прочности металлов, вследствие чего они оказываются подверженными более интенсивному износу. Причина этого явления также заключается в удалении цементита из поверхностных слоев металла. В серосодержащих высокотемпературных газах на поверхности железа, стали, чугунов и других металлов образуется сульфидная или смешанная окалина, которая обладает свойствами, близкими к свойствам кислородной окалины. Она служит препятствием для диффузии реагентов друг в друга и имеет защитное действие. Некоторые виды окалины, например, сульфидная окалина никеля, образуют с никелем легкоплавкие вещества, и в этом случае возможен переход химической газовой коррозии в высокотемпературную электрохимическую.

Водородная и галогенидная коррозия. Водородная коррозия возникает при диффузии водорода в сталь и другие материалы при высоких температурах, что наблюдается, например, в аппаратуре для синтеза аммиака или переработки метана. Она вызывает изменение механических свойств металлов: повышение хрупкости стали, ее расслоение и пузырение. Хрупкое разрушение при водородной коррозии в большей степени характерно для высокоуглеродистой стали, имеющей высокие прочностные показатели, тогда как для мягких сталей типично расслоение и пузырение.

Галогенидная коррозия представляет собой процесс коррозии металлов в хлористом водороде, хлоре, фторе, броне, йоде с образованием галогенидов.

Обычно при низких температурах большинство металлов слабо взаимодействует с такими веществами, но при температурах 200–300°C происходит самоускорение этих реакций, и некоторые металлы буквально «сгорают». Это нужно помнить при разработке месторождений, в пластовой воде которых содержится значительное количество галогенов. При воздействии на пласт термическими способами, при откачке жидкости с помощью центробежных насосов, температура может достигать величины, при которой возникает галогенидная коррозия.

Коррозию металлов можно затормозить изменением потенциала металла, пассивированием металла, изменением состава металла, изоляцией поверхности металла от окислителя, снижением концентрации окислителя и др. Выбор того или иного способа определяется его экономичностью и эффективностью в каждом случае.

Все методы защиты от коррозии можно условно разделить на пять групп, при этом для повышения эффективности защиты допускается одновременное использование двух и более методов.

Первая группа методов: создание рациональных конструкций. Создание рациональных конструкций подразумевает, что выбор материалов и их сочетания должны обеспечивать высокую коррозионную устойчивость, а форма узлов и деталей – допускать быструю очистку и смазку.

Вторая группа методов: защитные покрытия. Защитные покрытия представляют собой слои, искусственно создаваемые на поверхности металлических изделий и сооружений для предохранения их от коррозии. Защитные покрытия бывают металлические и неметаллические. Выбор вида покрытия зависит от условий, в которых используется изделие из металла.

Методы нанесения металлических защитных слоев разнообразны, их делят на высокотемпературные и электрохимические.

К высокотемпературным методам можно отнести следующие.

Во-первых, метод окунания, который применяют для нанесения покрытий из легкоплавких металлов на более тугоплавкие. Так покрывают стальные листы оловом, цинком и свинцом. Сущность метода сводится к тому, что в расплавленный металл, из которого хотят приготовить покрытие, через слой флюса погружают стальной лист и затем вынимают его, в результате чего металл кристаллизуется на поверхности.

Во-вторых, металлизация, которая представляет собой нанесение металлических покрытий на поверхность изделия путем распыления жидкого металла. Распыление осуществляется в дуговом, искровом или плазменном разряде.

В-третьих, планкирование – нанесение пленок из защитного металла путем совместного проката. Этот метод используется для листов, прутков, угольников. Примером может служить дюраль, планкированный алюминием, сталь, планкированная нержавеющей сталью.

Третья группа методов: легирование металлов. Легирование металлов – эффективный, но дорогостоящий путь повышения коррозионной стойкости металлов. При легировании в состав сплава вводят компоненты, вызывающие пассивацию металла: хром, никель, вольфрам и др. Легирование может быть поверхностным и объемным.

Поверхностное легирование представляет собой насыщение поверхности сплава металлом, который при высоких температурах окисляется энергичнее,

чем железо, и образует при этом плотную защитную пленку оксида. Так, легирование стали осуществляют алюминием (алитирование), хромом (хромирование) или кремнием (силицирование).

Четвертая группа методов: изменение свойств коррозионной среды. Суть этих методов заключается в уменьшении концентрации опасных в коррозионном отношении компонентов для снижения агрессивности среды. Применение этих методов не всегда экономически оправдано, учитывая, что подавляющая часть коррозионной среды не соприкасается с оборудованием.

Также для защиты от коррозии широко применяют ингибиторы. Это вещества, которые пассивируют поверхность металлов и препятствуют развитию коррозионных процессов. Ингибиторами могут быть как неорганические, так и органические вещества. Неорганические вещества применяются редко, главным образом при травлении металлов.

Пятая группа методов: электрохимическая защита. Среди методов электрохимической защиты различают анодную, катодную и протекторную защиту.

Этот метод основан на торможении анодных и катодных реакций коррозионного процесса. При работе коррозионной гальванической пары активный участок, анод, разрушается и переходит в ионное состояние, развивая при этом некоторый отрицательный потенциал. Если на изделие извне наложить больший отрицательный потенциал, чем развивает анод, то процесс коррозии прекратится.

Метод протекторов заключается в том, что к изделию, подвергающемуся электрохимической коррозии, подключают деталь – протектор, изготовленный из еще более активного металла, чем металл изделия. В этом случае протектор (анод) будет разрушаться, а изделие (катод) останется неизменным. Для изготовления протекторов большей частью используют магний и его сплавы, цинк, алюминий.

Основные методы борьбы с коррозией нефтепромыслового оборудования, которые сегодня применяют отечественные и зарубежные компании, можно разделить на три группы: химические, физические и технологические (рис. 1).

Химические методы основаны на использовании химреагентов, в основном ингибиторов коррозии. Физические методы подразумевают применение коррозионностойких материалов, защитных покрытий и протекторной защиты. Технологические методы защиты от коррозии подразумевают корректировку коррозионных факторов в скважине, в том числе – ограничение водопритока, предотвращение попадания кислорода, снижение скорости потока и температуры жидкости и др.

Рассмотрим подробнее такой способ как ингибиторы коррозии. В зависимости от механизма действия ингибиторы коррозии подразделяются на ингибиторы барьерного типа, нейтрализующие, удаляющие и прочие. Действие ингибиторов барьерного типа основано на образовании пленок. Анодные, катодные и смешанные ингибиторы барьерного типа образуют пленки с физической адсорбцией, окисляющие ингибиторы – оксидную пленку, ингибиторы, преобразующие поверхностную пленку, – нерастворимые пленки на поверхности металла. Нейтрализующие ингибиторы увеличивают pH среды, удаляющие – ликвидируют из нее агрессивные компоненты. Наконец, к группе прочих ингибиторов относятся биоциды, которые подавляют действие сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ).

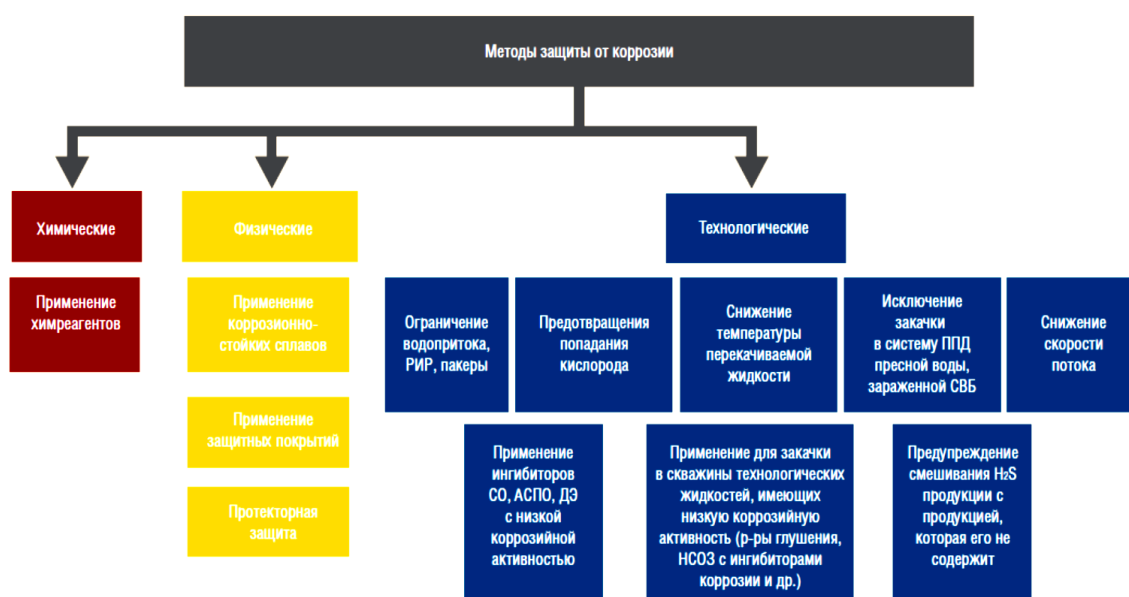


Рис. 1. Методы защиты от коррозии нефтедобывающего оборудования

Среди производителей ингибиторов есть как зарубежные, так и отечественные компании. Из отечественных производителей можно выделить ОЗ «Нефтехим», ЭЗ «Нефтехим», «Миррико» и «ФЛЭК», наиболее крупные производители ингибиторов среди зарубежных компаний – Nalco Chemicals, Champion Chemicals, Baker Petrolite, Cortec.

Выделяют два объекта подачи ингибитора – скважина и пласт. Подача ингибитора в скважину возможна несколькими способами: дозирование с помощью устьевых дозаторов в затрубное пространство, дозирование с помощью устьевых дозаторов в заданную точку по капиллярной трубке, периодическая закачка в заданное пространство с помощью агрегатов и др.

Среди способов подачи химреагентов в пласт можно назвать следующие: задавка в пласт добывающих скважин, закачка в нагнетательные скважины через систему ППД, введение ингибитора с жидкостью глушения, подача капсулированного реагента.

К преимуществам технологии, на наш взгляд, можно отнести длительное время выноса ингибитора, а также то, что ПЗП не кольматируется вследствие отсутствия задавки ингибитора. Среди недостатков технологии можно назвать то, что ингибитор легко адсорбируется на поверхности мехпримесей, при использовании капсулированного реагента необходим определенный диапазон соотношения дебита по воде к объему зумпфа, требуется свободный объем зумпфа для размещения капсул. Кроме того, при большом выносе мехпримесей возможно засыпание зумпфа с капсулами, а также в скважинах с высокими дебитами жидкости снижается время действия реагента.

Так же распространенным способом является нанесение защитного покрытия. Защитное покрытие противостоит таким коррозионным факторам, как агрессивная среда, бактерии и механический износ. Внутренние покрытия для труб в зависимости от химического состава подразделяются в основном на эпоксидные, фенольные, эпоксидно-фенольные, новолачные, нейлоновые, уретановые и полиэтиленовые.

Есть несколько специальных технологий нанесения защитных покрытий. К примеру, компания «Технологические системы защитных покрытий» (ТЗСП) применяет следующие способы нанесения: высокоскоростное, электродуговое металлизационное, плазменное, газоплазменное напыление и плазменную наплавку. Эти технологии позволяют наносить в качестве покрытий нержавеющие сплавы на основе железа, сплавы на основе никеля, твердые сплавы, нержавеющие стали, монель, цинк, алюминий и их сплавы. Они обеспечивают высокую прочность сцепления покрытия с покрываемой поверхностью, но вместе с тем сложны с точки зрения технического исполнения и весьма дорогостоящие.

В компании «Татнефть» производится несколько видов нефтепромыслового оборудования с защитным покрытием. Во-первых, металлопластмассовые трубы (МПТ). К их преимуществам относятся стойкость к агрессивным средам, а также снижение отложения солей и АСПО, к недостаткам – высокие требования к подготовке поверхностей, низкая термостойкость, сложность нанесения на поверхность и высокая стоимость. Во-вторых, стальные трубы с полимерной наружной изоляцией и внутренним цементно-песчаным покрытием. Их преимущества аналогичны таковым МПТ, в качестве минусов можно назвать высокую степень зависимости прочности и долговечности покрытия от качества применяемого состава и технологии нанесения, техническую сложность нанесения на поверхность и высокую стоимость. Третий вид изделий – стальные трубы с силикатно-эмалевым покрытием. Среди их плюсов: стойкость к агрессивным средам, способность к снижению отложений солей и АСПО, значительный диапазон температуры эксплуатации – от -60 до +350°C, высокая стойкость к абразивному износу. Недостатки аналогичны перечисленным для труб с полимерной наружной изоляцией и внутренним цементно-песчаным покрытием.

И, наконец, НКТ с защитным полимерным покрытием, для нанесения которого на поверхность применяется материал ПЭП-585. НКТ с полимерным покрытием отличаются стойкостью к агрессивным средам, снижением отложения солей и АСПО и гидравлических сопротивлений. Недостатки аналогичны перечисленным выше.

Еще один метод для борьбы с коррозией – это применение протекторной защиты.

В ряде случаев для борьбы с коррозией применяются алюминиево-магние-вые протекторы для УЭЦН. Их разработчиком, в частности, выступает дочернее общество компании ТНК-ВР. Принцип этой технологии заключается в том, что протектор поляризует сталь до безопасного потенциала, что приводит к окислению («растворению») самого протектора.

К преимуществам такого рода оборудования мы причисляем относительно низкую стоимость и значительный срок службы – до 5 лет при условии правильного подбора. Среди недостатков можно назвать увеличение габаритных размеров насосной установки, высокие требования к качеству подбора протектора. Так, чтобы корректно подобрать протектор, необходима достоверная и точная информация об электрохимических характеристиках защищаемого металла, свойствах среды, покрытия, форме и размерах защищаемого оборудования, температуре и скорости потока.

Таким образом, наиболее серьезным и комплексным осложнением, приводящим к существенному снижению ресурса нефтепромыслового оборудования и повышению его аварийности, является коррозия металла и ее разновидности. Кроме наличия в технологических средах агрессивных компонентов, на развитие коррозии немалое воздействие оказывает высокая интенсивность технологических режимов работы оборудования (высокие давление, температура и скорость потока технологических сред), способствующая возникновению значительных механических напряжений в металле, которые, в совокупности с высокой коррозионной агрессивностью технологических сред, приводят к ускоренному коррозионно-механическому разрушению нефтепромысловых объектов. Борьба с указанными осложнениями чаще всего сводится к применению химических реагентов (ингибиторы коррозии и солеотложения, биоциды, умягчители, коагулянты, флокулянты и т. п.), которые в огромных количествах закачивают в технологические среды. Однако присутствие данных химических соединений в технологических средах нежелательно, так как оно приводит к необходимости дальнейшей

очистки от них нефти и нефтепродуктов, а также к образованию некоторых новых веществ, еще более усугубляющих коррозию нефтеперерабатывающего оборудования. Кроме того, вводимые в технологические среды вещества могут быть высокотоксичными и опасными для здоровья персонала, обслуживающего нефтепромысловое оборудование.

Список литературы

1. Гареев А.Г. Основы коррозии металлов [Текст] / А.Г. Гареев. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. – 256 с.
2. Кравцов В.В. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования. Учебное пособие [Текст] / В.В. Кравцов, О.Р. Латыпов, О.А. Макаренко, И.Г. Ибрагимов. – М.: Химия, 2010. – 344 с.
3. Бугай Д.Е. Коррозионностойкие материалы: Учебник [Текст] / Д.Е. Бугай, О.Р. Латыпов, С.Е. Черепашкин. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2012. – 197 с.
4. Черепашкин С.Е. Методы коррозионных исследований: Учебное пособие [Текст] / С.Е. Черепашкин, О.Р. Латыпов, В.В. Кравцов. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – 86 с.
5. Латыпов О.Р. Защита нефтегазового оборудования от коррозии методом поляризации [Текст] / О.Р. Латыпов, Д.Е. Бугай, В.Н. Рябухина // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – №3 (101). – С. 155–164.
6. Латыпов О.Р. Снижение коррозионной активности промысловой среды [Текст] / О.Р. Латыпов, С.Е. Черепашкин, Е.В. Боев // Сборник научных трудов: SWorld. – Выпуск 4 (37). Том 6. – Одесса: Куприенко СВ, 2014. – С. 84–86.