

УДК 620.193

**КОРРОЗИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НЕЙ  
В НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ОТРАСЛЯХ****Шкодин А.А., Тлехусеж М.А.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,  
e-mail: artemshkodin666@gmail.com*

Данная работа посвящена такой актуальной в современном мире проблеме, как коррозия в нефтегазовой промышленности. В работе ставятся задачи выявить причины коррозии металлов и факторы, влияющие на нее, например, такие как увеличение обводненности, износ оборудования, применяемые методы интенсификации; также одной из задач является – ознакомиться с такими видами коррозии, как коррозионная усталость, фреттинг – коррозия (коррозия при минимальном повторяющемся перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды), кавитация (процесс образования и последующего схлопывания пузырьков в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей с разреженным паром), ручейковая коррозия (Вид коррозии, возникающей в зоне периодического смачивания поверхности трубопровода высококоррозионной средой, которая содержит различные виды примесей); описать методы борьбы с физико – химическим разрушением металлов, например, покрытия изделий защитными коррозионно-стойкими металлами (хромирование, цинкование), покраска металлических изделий красками и лаками, легирование металла, использование специальных коррозионностойких материалов при создании оборудования, электрохимическая защита и др.; основываясь на литературных исследованиях авторов, выявить наиболее целесообразные методы борьбы с коррозией с помощью, проанализировав данный материал.

**Ключевые слова:** коррозия металлов, нефтегазовое дело, защита металлов, методы борьбы с коррозией**CORROSION AND METHODS OF STRUGGLE AGAINST  
IT IN OIL INDUSTRIAL BRANCHES****Shkodin A.A., Tlekhusezh M.A.***Kubansky State Technological University, Krasnodar, e-mail: artemshkodin666@gmail.com*

This work is devoted to such an urgent problem in the modern world as corrosion in the oil and gas industry. The paper aims to identify the causes of corrosion of metals and the factors affecting it, for example, such as increased water content, equipment wear, the methods of intensification; also one of the tasks is to get acquainted with such types of corrosion as corrosion fatigue, fretting – corrosion (corrosion with minimal repetitive movement of two surfaces relative to each other under the influence of a corrosive environment), cavitation (the process of formation and subsequent collapse of bubbles in the liquid flow, accompanied by noise and hydraulic shocks, the formation of cavities in the liquid with rarefied steam), brook corrosion (a type of corrosion that occurs in the zone of periodic wetting of the pipeline surface with a highly corrosive medium that contains various types of impurities); describe methods of struggle against physical and chemical destruction of metals, for example, coating products with protective corrosion-resistant metals (chromium plating, galvanizing), painting of metal products with paints and varnishes, metal alloying, the use of special corrosion-resistant materials in the creation of equipment, electrochemical protection, etc.; based on the literary studies of the authors, to identify the most appropriate methods of combating corrosion by analyzing this material.

**Keywords:** corrosion, oil and gas business, metal protection, methods of dealing with corrosion

Термин коррозия происходит от латинского слова *corrodere*, что означает разъедать, разрушать. Коррозия металлов – самопроизвольное разрушение металлов вследствие физико-химического воздействия окружающей среды, при котором металл переходит в окисленное (ионное) состояние и теряет присущие ему свойства. В тех случаях, когда окисление металла обязательно для осуществления какого-нибудь технологического процесса, термин «коррозия» использовать не стоит. Например, нельзя говорить о коррозии растворимого анода в гальванической ванне, так как анод должен окисляться, посылая свои ионы в раствор, чтобы протекал нужный процесс. Не правильно также говорить

о коррозии алюминия при осуществлении алюмотермического процесса. Но физико-химическая сущность изменений, происходящих с металлом во всех похожих случаях, одинакова: металл окисляется.

*Методы защиты металлов*

Со вступлением месторождения на завершающую стадию, коррозия усиливается по следующим причинам: увеличение обводненности, износ оборудования, применяемые методы интенсификации. В связи с этим повышается число отказов добывающих скважин. Существуют факторы, усугубляющие коррозию. Одними из них являются: коррозионная усталость (при циклических нагрузках), фреттинг-коррозия (осложнение

трением деталей, в результате чего скорость коррозии увеличивается), биокоррозия (воздействие жизнедеятельности микроорганизмов и бактерий), кавитация (схлопывание пузырьков газа при перепадах давлений) [1]. Один из наиболее опасных факторов – это содержание сероводорода. В присутствии такой среды образуются сульфиды железа, которые скапливаются около соединительных муфт на внешней стенке насосно-компрессорной трубы (НКТ), вследствие чего образуются сквозные отверстия. Среди различных методов борьбы с содержанием сероводорода выделяют применение химических реагентов – нейтрализаторов сероводорода (ФЛЭК-ПС-629, СНПХ-1517А). Механизм применения состоит во взаимодействии реагента с сероводородом, что приводит к образованию стабильных и малоактивных химических соединений [2].

Биокоррозия – это неотъемлемый спутник нефтегазовой промышленности. Биокоррозионную агрессивность грунта устанавливают по наличию сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ), повышающих агрессивность грунта из-за продуцирования сероводорода ( $H_2S$ ), тионовых бактерий, понижающих водородный показатель (рН) грунта за счет вырабатывания серной кислоты [3]. Образование серной кислоты и липидов являются фактором, который усиливает коррозию. Решая данную проблему, был разработан реагент ФЛЭК-ИК-200Б. Опыт применения ФЛЭК-ИК-200Б на Ярактинском месторождении позволило не только подавить жизнедеятельность микроорганизмов, но и предотвратить коррозию в нефтегазопромысловом оборудовании (НГПО) [4].

Для обнаружения коррозии существуют различные методы. Компания Cormon производит датчики марки Cormon Band для обнаружения питтингов, марки Cormon Duo для исследования эрозии и коррозии. Такие приборы позволяют одновременно применить необходимые методы для предотвращения разрушения металла, сделать выводы об эффективности применяемых методов, прежде чем проявятся сама проблемы. Технология мониторинга состоит в том, что при коррозии из металла выделяются ионы, а на поверхности образуется избыток электронов, что приводит к возникновению тока коррозии. Датчик использует полученные токи и интерпретирует в виде сигналов.

На сегодняшний день существует множество методов борьбы с коррозией. Среди них пользуются популярностью покрытия изделий защитными коррозионно-стойкими металлами (хромирование, цинкование); покраска металлических изделий красками и лаками; легирование металла; использо-

вание специальных коррозионно-стойких материалов при создании оборудования; электрохимическая защита, осуществляемая путем присоединения к оборудованию металла-анода, который будет впоследствии разрушаться); изменение свойств коррозионной среды благодаря внесению ингибиторов. Например, «Покачевнефтегаз» (территориально-производственное предприятие, в состав которого входят 7 цехов добычи нефти и газа, цех подготовки и перекачки нефти, цех сбора и транспортировки газа, вакуумно-компрессорные станции, газотурбинная электростанция на Покачевском месторождении) закупает погружной электродвигатель (ПЭД) в коррозионно-стойком исполнении. Средняя стоимость таких электродвигателей, как правило, выше на 15-17%, но число отказов сокращается [5].

Применение ингибиторов коррозии. При проведении работ по обработке призабойных зон зачастую применяют химические и термохимические методы. Такие обработки связаны с взаимодействием оборудования с агрессивной средой, поэтому становится необходимым добавлять ингибиторы коррозии с целью снижения повреждений. Это самый распространенный метод защиты, хотя и достаточно дорогостоящий. Наиболее популярными реагентами являются: уротропин, катапин-А, марвелан-К, И-1-А, В-2, ВИКОР-1А. В то же время представляет интерес поиска новых ингибиторов коррозии. Так, сотрудниками кафедры Химии КубГТУ были синтезированы ранее не описанные полифункциональные производные аминокислот, что дало возможность изучения их полезных свойств [6, 7]. Установлено, что все рассматриваемые соединения обладают антикоррозионной активностью в нейтральной среде. Наилучший результат показал амид 1,3-оксазолидинилуксусной кислоты, проявляющий ингибирующие действие не только в нейтральной, но и в кислой среде.

Применение ингибиторов хоть и продлевает срок службы оборудования, однако проблема защиты от коррозии остается открытой. В последнее время пользуются популярностью стеклопластиковые трубы (СПТ). В связи с ростом цен в металлургии, стоимость СПТ приближается к стоимости НКТ в антикоррозионном исполнении. Интерес нефтяных компаний к стеклопластиковым НКТ исходит от их эксплуатационных преимуществ: стойкость к коррозии, меньшая масса изделий, гладкая поверхность стенок, что препятствует образованию асфальтосмолопарофиновым отложениям (АСПО), низкая электро- и теплопроводность, длительный срок службы. Однако такие трубы не полностью адапти-

рованы к работе со стандартным инструментом (проблемы с резьбой при спуско-подъемных операциях) [8]. Применение стеклопластиковых насосно-компрессорных труб (СПНКТ) позволило бы повысить межремонтный период (МРП) добывающих скважин, снизить отказы НКТ, что привело бы к уменьшению потерь нефти.

*Влияние растворенного кислорода на скорость коррозии оборудования и эффективность ингибиторов коррозии в нефтепромысловых средах*

Потенциальная коррозионная активность нефтепромысловых сред зависит от степени обводненности добываемой нефти. Если с начала разработки угленосных залежей нефтяных месторождений в ОАО «Татнефть» агрессивность добываемых жидкостей определялась наличием в попутно добываемых водах сероводорода и углекислого газа, а агрессивность добываемой продукции девонских месторождений – присутствием углекислого газа, то впоследствии сильное влияние на протекание коррозионных процессов начал оказывать растворенный кислород. Его появление связано, в первую очередь, с использованием пресных вод для поддержания пластового давления (ППД). Кроме того, попадание кислорода в нефтепромысловые среды может происходить при нарушении технологического режима эксплуатации насосного оборудования, с техническими, дождевыми и канализационными стоками, сбрасываемыми на установки подготовки сточных вод и вместе с ними закачиваемыми для целей ППД, а также по ряду других причин.

По данным мониторинга растворенного кислорода в сточных водах на объектах ОАО «Татнефть» за последние 10 лет концентрация кислорода в среднем снизилась с 0,35 до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Исследованиями прошлых лет установлено, что скорость коррозии стали в сточной воде, не содержащей кислород, при умеренном движении среды (0,5-1,0 м/с) не превышает 0,05 г/м<sup>2</sup>·ч, тогда как в аэрированной сточной воде скорость коррозии возрастает в десятки раз. Проведенные в институте «ТатНИПИнефть» лабораторные исследования по оценке влияния растворенного кислорода в диапазоне концентраций от 0 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> на изменение скорости коррозии стали в неингибированной модели сточных вод в присутствии растворенного углекислого газа показали прямо пропорциональную зависимость, причем влияние кислорода на скорость коррозии стали в исследуемых концентрациях гораздо сильнее влияния углекислого газа.

Кроме значительного увеличения скорости коррозии, растворенный кислород оказывает сильное влияние на эффективность ингибиторной защиты. Результаты лабораторных исследований наиболее широко применяемых на промыслах ОАО «Татнефть» в настоящее время ингибиторов коррозии показывают, что резкое снижение защитного эффекта с 86-89% до 43-58% наблюдается при концентрации кислорода 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение концентрации кислорода в сточной воде до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> приводит к более монотонному снижению защитного действия. При этом следует отметить, что скорость коррозии при дозировании ингибиторов даже при концентрации кислорода 0,1 мг/дм<sup>3</sup> выше, чем скорость коррозии без ингибитора в отсутствии кислорода.

При отсутствии растворенного кислорода в воде контрольная скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год и существенно снижается в течение первого часа в присутствии ингибитора коррозии. При увеличении концентрации растворенного кислорода до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> происходит резкое (более чем в 2,5 раза) увеличение коррозионной активности сточной воды, причем при подаче ингибитора коррозии в кислородсодержащую сточную воду скорость коррозии оставалась выше, чем скорость коррозии в неингибированной воде при отсутствии кислорода. При дальнейшем увеличении концентрации растворенного кислорода в сточной воде до 1 мг/дм<sup>3</sup> коэффициент увеличения скорости коррозии образцов стали в ингибированной среде возрастает в большей степени, чем в неингибированной среде по сравнению с его отсутствием. Например, скорость коррозии образцов в неингибируемой сточной воде при регламентированном значении концентрации кислорода, составляющем 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, увеличивается в среднем в 5,6 раза, ингибируемых – в 18 раз. [9]

Таким образом, результаты исследований показали: 1) скорость коррозии стали зависит как от концентрации кислорода, так и от концентрации углекислого газа, однако влияние кислорода на скорость коррозии стали в диапазоне исследованных концентраций гораздо сильнее влияния углекислого газа. Особенно сильное влияние на скорость коррозии кислород оказывает при попадании в сероводородсодержащие среды; 2) при лабораторных исследованиях защитная эффективность ингибиторов уже при минимальном попадании кислорода значительно снижается, при дальнейшем увеличении концентрации кислорода происходит более медленное снижение защитного эффекта; 3) скорость коррозии в присутствии кислорода в воде даже при дозировании ингиби-

тора коррозии выше, чем скорость коррозии при отсутствии кислорода без ингибитора; 4) по результатам лабораторных исследований одинаковые значения скорости коррозии в неингибированной бескислородной среде и скорости коррозии в присутствии ингибиторов наблюдаются уже при значении концентрации кислорода порядка  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ ; 5) из результатов лабораторных и стендовых исследований следует, что более предпочтительно предупреждать попадание кислорода, чем ингибировать кислородсодержащую жидкость [9].

*Коррозия и методы борьбы с коррозией оборудования нефтепереработки*

Проблема коррозии оборудования нефтепереработки актуальна на сегодняшний день. Это обусловлено тем, что данное явление выводит из строя многие виды машин, сооружений и изделий, отрицательно сказывается на экономике предприятия. В результате коррозии возникают утечки нефтепродуктов, газов, различных химических веществ, которые приводят к загрязнению окружающей среды и возникновению аварийных ситуаций. Поэтому очень важно заблаговременно находить дефекты в оборудовании нефтепереработки и предотвращать их.

Рассмотрим метод борьбы с коррозией, где металлические покрытия делятся на два вида: катодные и анодные. К первым относятся покрытия из меди, никеля и серебра. К анодным – покрытия из кадмия и цинка. Также рассмотрим такие процессы, как оксидирование и фосфатирование. Оксидирование применяют для защиты алюминия и его сплавов от атмосферной коррозии. Создание оксидной пленки осуществляется в емкости с раствором серной кислоты. Продолжительность процесса – 60 минут. Фосфатирование используют для защиты стали. Металлическое изделие опускают в горячий раствор фосфорнокислых солей железа, цинка или марганца. Продолжительность процесса – от 30 минут до 2 часов.

Следующий метод – это неметаллические защитные покрытия (лакокрасочные). Для того чтобы обеспечить надежную коррозионную защиту, нужно соблюдать ряд технологических требований. Во-первых, покрытие должно быть многослойным. Во-вторых, поверхность металла перед нанесением защитного покрытия должна быть тщательно очищена. В-третьих, качество покрытия зависит от способа нанесения защитного слоя. Наиболее распространены и эффективны следующие вещества: свинцовый сурик ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), хромат цинка ( $\text{ZnCrO}_4$ ), лаки, содержащие фенолформальдегидные смолы, акриловые и полиу-

ретановые покрытия. Пигменты являются одними из самых главных компонентов, входящих в состав любого лакокрасочного покрытия: металлические порошки (никелевые, алюминиевые, медные, цинковые), технический углерод; оксиды – оксид цинка ( $\text{ZnO}$ ), оксид свинца ( $\text{PbO}$ ) и др.; соли – карбонаты, хроматы, алюмосиликаты и др.

Еще одним методом борьбы с коррозией металлов являются смазки и мастики на основе низкомолекулярного полиэтилена. Низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ) – это побочный продукт при получении высокомолекулярного полиэтилена высокого давления. Производят его в виде 3 марок: глицириноподобная жидкость – НМПЭ-1, мазевоскообразная масса – НМПЭ-2 и твердое воскообразное вещество – НМПЭ-3. НМПЭ обладает рядом полезных свойств: уникальная адгезионная способность ко многим видам твердых и эластичных материалов различной химической природы, абсолютная водостойкость и водонепроницаемость. Была разработана серия составов на основе НМПЭ-2 для гидроизоляции, антикоррозионной защиты стальных трубопроводов, железобетонных резервуаров, закладных деталей и сварных швов.

Эти составы сохраняют прочность при широком диапазоне температур; обладает стойкостью ко многим химически агрессивным средам, органическим и неорганическим кислотам, щелочам и солям; обладает хорошими теплоизоляционными свойствами; бензин, керосин, масла и другие нефтепродукты практически не действуют на НМПЭ.

На сегодняшний день большой популярностью стали пользоваться полимерные трубы. Их применяют в различных отраслях промышленности. Такие трубы не подвержены коррозии, не требуют защиты от блуждающих токов, обладают низкой теплопроводностью, что позволяет снизить тепловые потери. Использование полиэтиленовых труб уменьшает вероятность возникновения прорывов или утечек продукта. НМПЭ можно применять для защиты как от внутренней, так и от наружной коррозии оборудования. Проведя анализ полученных данных, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным способом защиты является именно последний метод [10].

*Способы борьбы с ручейковой коррозией трубопроводов*

Предлагаемый способ борьбы с ручейковой коррозией трубопроводов может быть использован в нефтяной промышленности, в частности в гидросистемах поддержания пластового давления (ППД) нефтяных промыслов.

Ручейковая коррозия трубопроводов характеризуется разрушением сравнительно небольшого по ширине участка внутренней поверхности трубы в нижней ее части от воздействия механических примесей, которые содержатся в нагнетаемой в пласт воде.

Известный способ борьбы с ручейковой коррозией основан на создании турбулентного режима движения потока жидкости заменой трубопровода большого диаметра на меньший. При числе Рейнольдса 180000 обеспечивается износ трубопровода, т.к. твердая взвесь находится во взвешенном состоянии. Однако указанный способ [11] связан с дополнительными затратами энергии на линейные гидравлические сопротивления и распространяется только для случаев, когда разрушенный от коррозии трубопровод заменяется на новый трубопровод. Для действующих трубопроводов гидросистем ППД этот способ борьбы с ручейковой коррозией не пригоден.

Предлагается способ борьбы [11] с ручейковой коррозией для действующих трубопроводов, предусматривающий введение в полость трубы дополнительных элементов, создающих турбулентный режим движения потока. В качестве турбулизатора предлагается использовать спирали в виде пружин с левой и правой навивкой. Спирали внутри трубы устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга.

Поток жидкости при взаимодействии со спиралями совершает поступательно-вращательное движение. Направление движения потока изменяется при переходе от одной спирали к другой. В результате последовательного закручивания потока твердые взвеси распределяются по всему сечению трубопровода с уменьшением времени контакта взвеси с трубопроводом. Предлагаемый способ борьбы с ручейковой коррозией обеспечивает равномерный износ внутренней поверхности трубы и исключает дорогостоящий и трудоемкий способ замены трубопровода большого диаметра на меньший. Этот способ можно использовать так же в газлифтных установках нефтяных скважин для стабилизации газонефтяного потока. Наибольший эффект в повышении коэффициента полезного действия газлифтных установок можно получить в наклонных скважинах [11].

### Заключение

Металлы – одна из основ цивилизации планеты Земля. В XXI веке высокие темпы развития промышленности, повышение интенсивности производственных процессов, повышение основных технологических параметров (температура, давление, концентрация реагирующих средств и др.) предъявляют

высокие требования к надежной эксплуатации технологического оборудования и строительных конструкций. Особое место в комплексе мероприятий по обеспечению беспереывной эксплуатации оборудования отводится надежной защите его от коррозии и применению в связи с этим высококачественных химически стойких материалов. Необходимость осуществления мероприятий по защите от коррозии обусловлено тем обстоятельством, что потери от коррозии приносят чрезвычайно большой ущерб. Основной вред от коррозии металла связан не только с потерей больших количеств металла, но и с порчей или выходом из строя самих металлических конструкций, т.к. вследствие коррозии они теряют необходимую прочность, пластичность, герметичность, тепло- и электропроводность, отражательную способность и другие необходимые качества. К потерям, которые терпит народное хозяйство от коррозии, должны быть отнесены также громадные затраты на всякого рода защитные антикоррозионные мероприятия, ущерб от ухудшения качества выпускаемой продукции, выход из строя оборудования, аварий в производстве и так далее. Защита от коррозии является одной из важнейших проблем, имеющей большое значение для современной промышленности.

### Список литературы

1. Федосова Н.Л. Антикоррозионная защита металлов. Иваново, 2009. 187 с.
2. Тюсенков А.С., Черепашкин С.Е. Причины коррозии насоснокомпрессорных труб нефтепромыслов и технологическое повышение их долговечности // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 6. С. 11–16.
3. Саматов Р.Р. Осторожно, биокоррозия! Риски, мифы и решения // Нефть. Газ. Новации. 2013. № 10. С. 51–57.
4. Глушенко В.Н., Зеленая С.А., Зеленый М.Ц., Пташко О.А. Биозараженность нефтяных месторождений. Уфа: Белая река, 2012. 680 с.
5. Клыков В.Ю. Методы борьбы с коррозией ГНО в НГДУ «Воткинский» ОАО «Удмуртнефть» // Инженерная практика. 2010. № 6. С. 88–93.
6. Тлехусеж М.А., Тюхтенёва З.И., Ненько Н.И. Активаторы прорастания семян озимой пшеницы на основе амидов полизамещенной аминаомасляной кислоты // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. URL: <http://science-education.ru/tu/article/view?id=19606> (дата обращения: 22.12.2018).
7. Солоненко Л.А., Тлехусеж М.А., Сорочкая Л.Н. Модификация поверхностного натяжения СОЖ присадками из полифункциональных производных органических кислот C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 63–64.
8. Малыгина Л.В., Мутин И.И., Сахабудинов К.Г. Опыт применения стеклопластиковых труб в ОАО «Гатнефть» // Нефтяное хозяйство. 2009. № 4. С. 99.
9. Гоник А.А. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры ее предупреждения. М.: Недра, 1976. 192 с.
10. Пат. 2108409 Российская Федерация, МПК С23 F11/173. Способ защиты от коррозии установок первичной переработки нефти / Томин В.П.; Кольванова Е.М.; Корчевин Н.А.; Бабиков А.Ф.; Елшин А.И.; заявитель и патентообладатель Ангарская н/х комп-я. № 96102999/02; заяв. 10.04.98; опубл. 10.04.98. 4 с.
11. Чухарева Н.В., Абрамова Р.Н., Болсуновская Л.М. Коррозионные повреждения при транспорте скважинной продукции: методические указания. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 64 с.