

Main Directions of Protection of Equipment and Pipelines Against Biocorrosion

A.N. Gurbanov

Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig pr., 20, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Gurbanov Abdulaga / e-mail: qabdulaga@mail.ru

Abstract

The problems of biocorrosion and damage to the outer and inner surfaces of pipelines and systems in the oil and gas industry are considered. The main factors influencing the development of biocorrosion are revealed, conditions favorable for the reproduction of microorganisms are established under the insulating material. The results of research of inhibitors for applying with insulating materials for pipelines, in particular, bituminous mastics, are presented. Based on a comparative analysis of existing methods for detecting and protecting biocorrosion, the main directions of control and protection of equipment against biocorrosion are determined. It is shown that monitoring and control of the state of pipelines in real time is one of the promising areas of protection against biocorrosion.

Keywords: pipelines, biocorrosion, microorganisms, insulating materials, sulfate-reducing bacteria, corrosion protection.

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_03_74_82

For citation:

Gurbanov A.N.

[Main Directions of Protection of Equipment and Pipelines Against Biocorrosion]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy,
2021, vol. 13, no. 3, Pp. 74-82 (*in Russian*).

Avadanlıq və boru kəmərlərinin biokorroziyadan qorunmasının əsas istiqamətləri

Ə.N. Qurbanov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr., 20, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Qurbanov Əbdülağa / e-mail: qabdulaga@mail.ru

Xülasə

Neft və qaz sənayesində boru kəmərləri və sistemlərinin xarici və daxili səthlərində biokorroziya və zədələnmə məsələləri araşdırılmışdır. Biokorroziyanın inkişafına təsir göstərən əsas amillər aşkar olunmuş, izolyasiya materialı altında mikroorqanizmlərin çoxalması üçün şəraitin yaranması səbəbləri müəyyən edilmişdir. Boru kəmərlərində izolyasiya materialları, xüsusilə bitumlu mastikalar ilə birlikdə tətbiq etmək üçün inhibitorların tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunmuşdur. Biokorroziyanın aşkarlanması və qorunmasının mövcud üsullarının müqayisəli təhlili əsasında avadanlıqlarda biokorroziyaya nəzarət və qorunmanın əsas istiqamətləri müəyyənləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, boru kəmərlərinin vəziyyətinin real vaxt rejimində monitorinq və nəzarəti biokorroziyadan qorunmanın perspektiv istiqamətlərindən biridir.

Açar sözlər: boru kəmərləri, biokorroziya, mikroorqanizmlər, izolyasiya materialları, sulfat-reduksiyaedici bakteriyalar, korroziyadan qoruma.

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_03_74_82

УДК: 622.279.72

Основные направления защиты оборудования и трубопроводов от биокоррозии

А.Н. Гурбанов

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 20, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:

Гурбанов Абдулага / e-mail: qabdulaga@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы биокоррозии и повреждения наружных и внутренних поверхностей трубопроводов и систем в нефтегазовой промышленности. Выявлены основные факторы, влияющие на развитие биокоррозии, установлены условия благоприятные для размножения микроорганизмов под изоляционным материалом. Приведены результаты исследований ингибиторов для применения совместно с изоляционными материалами для трубопроводов, в частности битумными мастиками. На основе сравнительного анализа существующих методов обнаружения и защиты биокоррозии, определены основные направления контроля и защиты оборудования от биокоррозии. Показано, что мониторинг и контроль состояния трубопроводов в реальном масштабе времени является одним из перспективных направлений защиты от биокоррозии.

Ключевые слова: трубопровод, биокоррозия, микроорганизмы, изоляционные материалы, сульфатредуцирующие бактерии, защита от коррозии

Введение

На повреждение труб в нефте- и газопроводах при эксплуатации подземных сооружений, помимо механической коррозии, влияет и биологическая составляющая окружающей среды (почвы, грунта), когда происходит разрушение защитного покрытия труб под воздействием почвенных микроорганизмов.

Трубопроводы и трубопроводные системы, находящиеся в земле, больше подвергаются коррозии из-за специфических условий их залегания, и повышение влажности вокруг трубопроводов также приводит к развитию коррозии. Это ведет к образованию коррозионных трещин, потере транспортируемой продукции и в большинстве случаев – к значительному загрязнению окружающей среды. Данное обстоятельство настоятельно требует применения противокоррозионной защиты.

Защите от микроорганизмов, приводящих к биокоррозии, необходимо уделять особое внимание.

Исследования показывают, что высокая активность микрофлоры в местах пролегания нефтегазовых трубопроводов, приводящая к их биокоррозии, связана с особенностями климатических условий относительно влияния на почвообразовательный процесс в Азербайджане, которые определяют состав микроорганизмов.

Вместе с коррозией внутренней части трубопроводов данные обстоятельства приводят к быстрому износу металлических частей трубопроводной системы и системы комплексной подготовки газа к транспорту. При этом трубопровод, находящийся в траншее, изменяет распределение почвенных компонентов в грунте, и, вместе с этим, микроорганизмов [1].

На жизнедеятельность микроорганизмов влияет температура окружающей среды, состав грунта, свойства металлов, использованных при изготовлении трубопроводов, состав изоляционных материалов, влага и температура нефтепродукта (нефти, газа и конденсата), прокачиваемого по трубопроводу, которая во взаимодействие с вышеуказанными факторами.

Целью работы является сравнительный анализ существующих методов и средств защиты от биокоррозии, определение основных направлений исследований и разработок.

Постановка задачи

Процессы коррозии металла должны быть исследованы и проанализированы совместно с учетом экологической обстановки и особенностей эксплуатации выше указанных устройств и систем в зависимости от условий окружающей среды.

Основной задачей при таком исследовании является установление степени влияния различных микроорганизмов, обитающих в близлежащих слоях земли, на скорость и глубину биокоррозии и разработка соответствующих методик, способов, веществ и устройств для устранения или уменьшения указанного влияния, путем изменения контроля биохимических процессов в грунте.

Естественно, металл без изоляционного покрытия во много раз быстрее подвергается коррозии и о полном устранении биокоррозии и речи не может быть. Однако, как показывает анализ результатов исследований, в случае правильного установления компонентов и микроорганизмов можно добиться значительного снижения

скорости коррозии и разрушения материала трубопроводов, а также максимальной экономической эффективности защиты от коррозии.

Хотя в настоящее время известен широкий ряд современных изоляционных материалов (полиуретан, полиэпоксид, тройной полиэтилен), в нефтегазовых комплексах преобладают дешевые ленточные покрытия с мастикой на масляно-битумной основе, которые менее эффективны по эксплуатационным и антикоррозийным параметрам.

Решение задачи

С учетом вышеуказанных аспектов защиты трубопроводов от биокоррозии, исследованы условия микробиологического разрушения в различных металлах, используемых при изготовлении трубопроводов, изучено стойкость материалов мастик, применяемых для покрытия трубопроводов.

В результате микробиологической деградации защитного покрытия из-за эффекта гетеротрофной изоляции аэробных и анаэробных бактерий: изменения физико-механических свойств защитных материалов, снижения их адгезионных характеристик, прочности, эластичности. Таким образом, основная функция защитных покрытий - способность защищать металл от коррозии снижается.

Выявлено, что биodeградация изоляционных материалов, используемых для защиты от коррозии в подземных сооружениях, является результатом взаимодействия поверхности изоляционных материалов с микроорганизмами, которое начинается с адгезии.

Адгезия к защитному материалу, который действует как биологическая питательная среда, и рост клеток микроорганизмов образуют биологический слой. В результате изменения метаболизма и продуктов защитного воздействия живых клеток изменяются защитные характеристики покрытия, вследствие чего изнашивается материал покрытия, что приводит к их разрушению и, естественно, к последующей коррозии трубопровода.

Разрушение металла идет благодаря созданию коррозионной среды кислыми метаболитами микроорганизмов и «ингибирующими» метаболитами, таким как перекись водорода. При этом рекомендуется использовать питательные среды с минимальным содержанием органических компонентов, тиосульфата с высокими значениями pH.

Количество микроорганизмов около трубопровода уменьшается в зависимости от расстояния от трубы, а химические процессы являются иницирующими факторами биологической коррозии металла, а впоследствии – факторами для продолжения процесса коррозии.

Таким образом, эти два процесса как бы дополняют - усиливают друг друга или другими словами, взаимно усиливаются, уступая роль и место в процессе общей коррозии.

При длительной эксплуатации трубопроводов с битумным покрытием в условиях трассы происходит их деградация с потерей диэлектрических свойств изоляционного покрытия, постепенное его растрескивание.

В трещинах защитного покрытия при эксплуатации трубопроводов на засоленных и твердых минерализованных участ-

ках, содержащих более 3-4% растворимых CO_2 и H_2S , из-за быстрого проникновения железа в жидкость и образования ионов водорода происходят коррозионные процессы. Проникновение водорода в поверхность стали приводит к резкому снижению прочности металлоконструкции и коррозионным процессам.

На участках с повышенной коррозионной активностью (в том числе: засоленные, заболоченные, илистые почвы) одной из причин коррозии является микробиологическая коррозия, которая приводит к разрушению подземных трубопроводов.

Учитывая это, проблема усовершенствования свойств изоляционных материалов с целью обновления их характеристик и дальнейшего улучшения ее качества является актуальной как в научном, так и в практическом плане.

Как показывают исследования, микроорганизмы, а именно: сульфатвосстанавливающие бактерии, способствуют возникновению до 80% всех потерь от коррозии. Более того, как было отмечено выше, микроорганизмы являются причиной коррозии как снаружи трубопроводов, разрушая его изоляцию, так и изнутри, повышая общую степень коррозии, что приводит к быстрому изнашиванию поверхности трубопроводов и утончению стенок трубы и его разрыву в конечном итоге.

Сульфатредуцирующие бактерии влияют на процесс биокоррозии, вследствие воздействия на скорость анодной или катодной реакции коррозионного процесса и за счет образования агрессивных продуктов метаболизма. При этом воздействие сульфатредуцирующих бактерий на коррозию происходит благодаря сероводороду и сульфида железа – продуктов жизнедея-

тельности данных бактерий, которые способствуют сероводородной коррозии. Поэтому необходимо определить вещества и их концентрации для борьбы с данного типа коррозией.

Как показывают исследования, при ингибировании такой среды церием или лантаном можно практически снизить разрушающее действие сульфатредуцирующих бактерий [2].

Как было отмечено выше, в нефтегазовой отрасли биокоррозию вызывают в основном сульфатредуцирующие бактерии, вследствие чего, возникает сероводород продукт коррозии. При этом для борьбы с этой коррозией применяется закачка нитратов, посредством которой удаление сульфидов может катализироваться различными окисляющими сульфид нитрат-редуцирующими бактериями. Однако, выявлено, что данные бактерии могут усилить локальную коррозию из-за неполного окисления сульфида до коррозионных промежуточных соединений серы.

Следует отметить, что в Азербайджане основная добыча нефти и газа осуществляется на морских месторождениях, что оборудования и трубопроводов подвержены сильной биокоррозии. Причем агрессия микроорганизмов повышается по мере развития метаболических процессов, связанных с коррозией.

При этом в сложной микробной и неорганической матрице биопленок возникают дополнительные, антагонистические и параллельные микробные пути, что может привести к высокой скорости коррозии [3].

Коррозия под воздействием микробов, бактерий, часто называемая биокоррозией, приводит к значительным экономическим потерям, особенно в нефтегазовой

промышленности. Некоторые авторы отмечают, что влияние микроорганизмов являются причиной около 20% всех повреждений такого типа [4].

Микроорганизмы взаимодействуют в окружающей среде с веществами, материалами оборудования и трубопроводов и приводят к сложным для адекватного описания процессам биокоррозии, что снижает достоверность прогноза коррозии, а в некоторых случаях делает это невозможным. Поэтому наиболее подходящим методом контроля коррозии в настоящее время можно считать периодический мониторинг состояния почвы, анализ концентрации микроорганизмов, участвующих в коррозии.

Считается, что биопленка состоит из консорциума микроорганизмов, и сульфатредуцирующие бактерии являются наиболее опасными, так как участвуют в коррозии черных металлов в нескольких средах обитания из-за их способности производить биогенный сульфид [5].

Кроме того, в почвах, без подступа воздуха или с уменьшенным доступом воздуха на коррозию сильно влияют сульфатредуцирующие бактерии, которые производят сероводород, непосредственно входящий в реакцию с железом.

Также отмечается, что биокоррозия и биообрастание остаются двумя наиболее серьезными проблемами для систем и оборудования, находящихся в прямом контакте с водной средой.

Для предотвращения повреждений или уменьшения влияния вышеуказанных процессов на данные системы предлагается реализовать концепции встроенного анализа и мониторинга обоих эффектов.

В настоящее время существует множество подходов к созданию установлению

сенсорной системы для измерения параметров биообрастания и биокоррозии, а также мониторинга в реальном масштабе времени.

Исследование воздействия производных диоксодекагидроакридина и четвертичных азотсодержащих на тионовые бактерии *Thiobacillus* sp, показало, что максимально эффективными по отношению к группе микроорганизмов оказались ингибиторы 1/0 среди производных диоксодекагидроакридина и ингибитор «Ж» среди ЧАС которые проявили степень блокировки роста 95,8 и 97,1% соответственно (рис.) и почти на 90% уменьшали скорость коррозии под воздействием тионовых бактерий.

Производные диоксодекагидроакридина - 1/0; 3/0; 6/0; 7/0; ЧАС - ингибитор «Ж».

Присутствие сульфатредуцирующих бактерий обычно обнаруживается в различных частях оборудования и систем нефтегазовой промышленности - от скважин до нефтегазоперерабатывающих заводов [6].

Они могут образовываться в любой водной среде или почве и являются общей проблемой из-за вездесущей природы микробов и коррозионных побочных продуктов в трубопроводах, которые удается частично уменьшить комплексной подготовкой транспортируемого газа [7].

Одним из путей решения данной проблемы является модификация нефтяной битумной мастики ингибиторами коррозии, которая может как предотвратить электрохимическую коррозию, так и улучшить физико-механические свойства полученных изоляционных покрытий и проявить их биологические свойства.

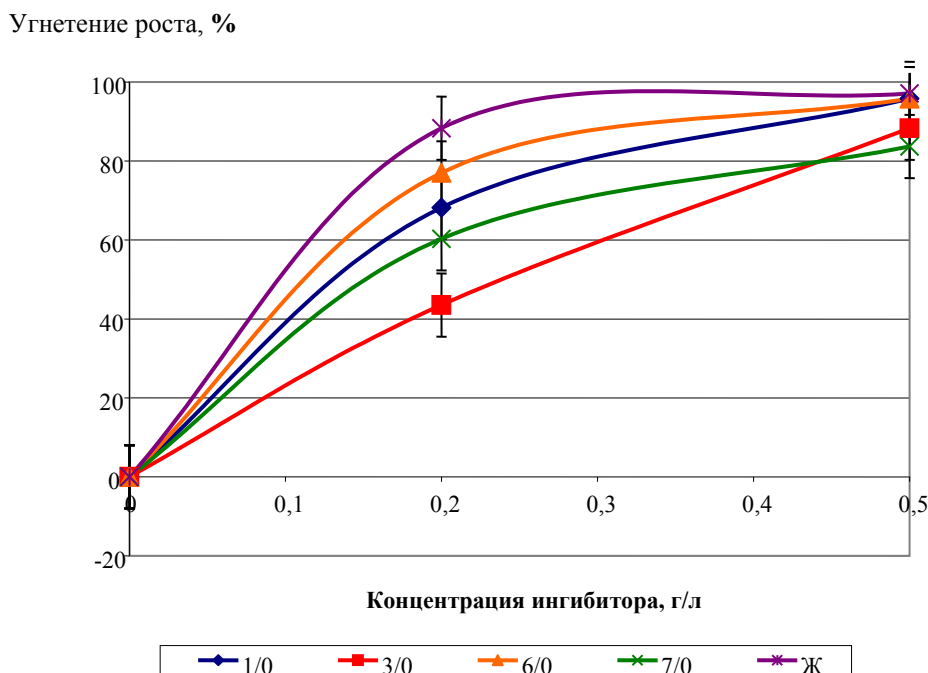


Рисунок – Подавление роста тионовых бактерий азотсодержащими ингибиторами коррозии
Figure – Suppression of the growth of thionic bacteria by nitrogen-containing corrosion

Основным метаболитом сульфатредуцирующих бактерий является сероводород. Поскольку сероводород является стимулятором как коррозии, так и гидрирования сталей, вопрос предотвращения или уменьшения их сульфатредуцирующей активности чрезвычайно важен.

Включение ингибиторов коррозии различных органических веществ в базовый состав битумно-полимерной мастики позволяет получать мастику с высокими физико-механическими свойствами и повышенной пластичностью.

Органические ингибиторы коррозии обеспечивают отличную защиту металла от коррозии при низких концентрациях в агрессивной среде. Эти ингибиторы быстродействующие, и их использование экономично. В качестве сырья использовалась

битумно-полимерная мастика, производимая в Азербайджане.

Одним из важных показателей качества битумно-полимерной мастики является впитывание воды, которое определяет ее гидрофобность и, как следствие, диэлектрические свойства изоляционного покрытия. Поэтому необходимо обращать внимание именно на эту способность мастики в широком диапазоне от 0,05% до 2,0% от массовых скоростей насыщения ингибиторов.

Анализ полученных результатов показывает, что впитывание воды у модифицированной мастики намного ниже, чем у базовой мастики, а также для базовой мастики на протяжении всего периода исследований наблюдается монотонное увеличение впитывания воды, однако оно намного меньше, чем у базовой мастики, что подтверждает

влияние ингибитора, входящего в базовую битумно-полимерную мастику, на гидрофобность модифицированной мастики.

Таким образом, ингибитор, абсорбированный на поверхности битумно-полимерной основы, вероятно, образует новую структурную структуру с высокой гидрофобностью.

Полученные результаты желательно учитывать при использовании модифицированной мастики на болотистых и илистых почвах.

Важным фактором, определяющим эффективность изоляционного покрытия, является его биостойкость к воздействию микроорганизмов грунта.

На основе результатов испытаний в подходящей питательной среде было установлено, что разработанные герметики обладают биологической стойкостью к микроорганизмам, участвующим в коррозии, и могут быть применены для изоляции трубопроводов на следующих проблемных участках маршрута: болота, илистые и засоленные почвы, почвы с повышенной влажностью, где наблюдается высокий риск микробиологической коррозии.

Одним из основных показателей, характеризующих активность ингибиторов коррозии, является их влияние на скорость коррозионных процессов. Жизнедеятельность бактерий сернистого цикла - сульфатредуцирующих и тионовых бактерий приводит к усилению коррозионного поражения подземных магистральных нефте- и газопроводов.

Результаты исследований показывают, что высокое содержание сульфатредуцирующих и железа восстанавливающих

бактерий характерно для заболоченных земель.

Согласно полученным результатам показано, что наиболее эффективной защитой от коррозии является ингибитор, действующий на сульфатредуцирующие бактерии, на основе производных диокси-декагидро-акридина и четвертичных соединений азота [8].

Заключение

На основе анализа существующих методов и способов защиты от биокоррозии можно выделить следующие основные направления защиты трубопроводов от биокоррозии в зависимости от состава грунта и почвы, климатических условий, типов микроорганизмов, диэлектрических свойств изоляционных материалов:

- применение ингибиторов, уменьшающих влияние и активности микроорганизмов;
- различных композиционных материалов;
- применение катодной защиты;
- периодический контроль и мониторинг состояния трубопроводов с целью выявления активности микроорганизмов,
- уменьшение активности сульфатредуцирующих бактерий, борьба с сероводородной коррозией, в соответствующих условиях.

Проведение дальнейших исследований и разработок в указанных направлениях является актуальным и приоритетным, учитывая изменения экологических условий в мире и прогресс в технологии добычи и переработки нефти и газа.

REFERENCES

1. **Moiseeva L.S., Kondrova O.V.** Biocorrosion of Oil and Gas Field Equipment and Chemical Methods for its Suppression // *Protection of Metals* (2005). volume 41, Pp. 385–393 (*in English*)
2. <https://neftegaz.ru/science/development/331762-issledovanie-korroziionnoopasnykh-mikroorganizmov-i-sposoby-ikh-ingibirovaniya-dlya-predotvrashcheniya/> (*in English*).
3. **Vigneron A, Head I.M., Tsismetzis N.** Damage to offshore production facilities by corrosive microbial biofilms. 2018, <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8808-9> (*in English*).
4. **Rapp B.E.** Electrochemical Methods for Biomass and Biocorrosion Monitoring, in *Encyclopedia of Interfacial Chemistry*, 2018 (*in English*).
5. **Coetser S.E., Cloete T.E.** Biofouling and biocorrosion in industrial water systems. 2005; 31(4):213-32. doi: 10.1080/10408410500304074 (*in English*).
6. **Mustafin F.M., Kuznecov M.V., Vasilev G.G.** i dr. Zashchita truboprovodov ot korrozii: T.1: S.74 ucheb. posobie / SPb.: OOO «Nedra», 2005. 620 s (*in Russian*).
7. **Qurbanov Ə.N.** Qaradağ yeraltı qazsaxlama anbarlarında istismar zamanı effektivliyin artırılması texnologiyası. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. Bakı. Cild. № 4. 2016, c. 37-42 (*in Azerbaijani*).
8. **Miralamov G.F., Gurbanov A.N., Mamedov R.M., Mustafayev T.V.** Povyshenie effektivnosti mikrobiologicheskoy zashchity podzemnyh sooruzhenij // *Izvestiya VUZov Azerbajjana*. №4 (92), 2014, s.15-22 (*in Russian*).

Поступило:	16.08.2020
Доработано:	15.09.2021
Принято:	21.09.2021