

УДК 62-6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА

Зуев Сергей Михайлович, магистрант, направление подготовки 08.04.01 Строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: retri13@gmail.com

Научный руководитель: **Легких Борис Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: borislegkih@gmail.com

Аннотация. Эффективность и надежность работы газозвоздушного тракта (ГВТ) напрямую зависят от его долговечности, на которую негативно влияет коррозия. Применение коррозионностойких материалов – ключевой фактор в борьбе с этим явлением и увеличения срока службы ГВТ. Это делает тему исследования актуальной и востребованной. Целью данного исследования является изучение влияния коррозии на эксплуатационные характеристики газозвоздушных трактов, а также анализ преимуществ использования коррозионностойких материалов для повышения их надежности и долговечности. Для достижения цели поставлены следующие задачи: анализ существующих технологий защиты от коррозии, исследование современных коррозионностойких материалов и их свойств, оценка экономической эффективности их применения.

Ключевые слова: газозвоздушный тракт, коррозия, надежность, полимерные материалы, теплоизоляция, исполнения газозходов, условия эксплуатации, оценка эффективности.

Для цитирования: Зуев С. М. Использование коррозионностойких материалов для увеличения срока службы газозвоздушного тракта // Шаг в науку. – № 3. – С. 45–48.

USE OF CORROSION-RESISTANT MATERIALS TO INCREASE THE SERVICE LIFE OF THE GAS-AIR TRACT

Zuev Sergey Mikhailovich, postgraduate student, training program 08.04.01 Construction, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: retri13@gmail.com

Research advisor: **Legkih Boris Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydromechanics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: borislegkih@gmail.com

Abstract. The efficiency and reliability of the gas-air duct (GW) directly depend on its durability, which is negatively affected by corrosion. The use of corrosion-resistant materials is a key factor in combating this phenomenon and increasing the service life of GW. This makes the research topic relevant and in demand. The purpose of this study is to study the effect of corrosion on the operational characteristics of gas-air ducts, as well as to analyze the advantages of using corrosion-resistant materials to increase their reliability and durability. To achieve this goal, the following tasks have been set: analysis of existing corrosion protection technologies, research of modern corrosion-resistant materials and their properties, assessment of the economic efficiency of their use.

Key words: gas-air duct, corrosion, reliability, polymer materials, thermal insulation, flue designs, operating conditions, efficiency assessment.

Cite as: Zuev, S. M. (2025) [Use of corrosion-resistant materials to increase the service life of the gas-air tract]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 45–48.

Газозвоздушный тракт (ГВТ) является важнейшим элементом многих промышленных установок, энерге-

тических систем, машинных и авиационных двигателей. Его эффективная и бесперебойная работа оказы-

вает существенное влияние на надежность и, в первую очередь, безопасность всего оборудования. ГВТ включает в себя две больших составляющих: систему подвода воздуха, называемую воздуховодами, и систему отвода продуктов сгорания, называемую газоходами. Газовоздушный тракт предназначен для подачи необходимого количества воздуха к месту горения, смешивания его с топливом, а также отвода продуктов сгорания топливной смеси [4].

Коррозия является одной из главных проблем, с которыми сталкиваются инженеры и специалисты в области эксплуатации ГВТ. В процессе сжигания топлива образуется многокомпонентная газовая смесь, которая может включать в себя кислород, азот, водяной пар, углекислый газ, оксиды серы и азота, а также летучие щелочные металлы [10], а температура в газовоздушном тракте может превышать 1000°C. Сочетание высокой температуры и агрессивной среды оказывает существенное влияние на состояние тракта и способствует активному протеканию коррозионных процессов [6].

Исходя из характера воздействия, коррозия подразделяется на следующие виды:

- химическая коррозия происходит в результате прямого воздействия химических веществ, содержащихся в газах, проходящих через газоходы. Например, кислоты, образующиеся в процессе сгорания топлива или в результате конденсации паров, могут вызывать разрушение металлических поверхностей. В этом случае уменьшается толщина стенок газохода, увеличивается вероятность образования трещин;
- электрохимическая коррозия возникает на поверхности металла, когда он контактирует с электролитом (например, конденсатом). Подобная среда является очагами образования коррозионных ямок и трещин, что приводит к снижению прочности соединений и увеличению риска аварийных ситуаций;
- коррозия под изоляцией возникает, когда теплоизоляционные материалы удерживают влагу, создавая благоприятные условия для коррозионных процессов на поверхности металла, визуально определить её наличие невозможно до момента разрушения конструкции;
- структурная коррозия связана с изменениями в структуре металла под воздействием внешних факторов. Проявляется в виде хрупкости и потери пластичности материала;
- высокотемпературная коррозия характерна для элементов газовоздушного тракта, работающих при температурах свыше 500°C. Связана с образованием оксидных пленок на поверхности металла;
- эрозионно-коррозионный износ связан с механическим воздействием потока газа, содержащего твердые частицы, на поверхность металла [7].

Существуют также различные типы коррозии, такие как точечная, межкристаллитная и эрозионная, каждая из которых обладает уникальными характеристиками и требует специфических методов защиты. Точечная коррозия возникает в местах локальных повреждений защитного покрытия, в то время как межкристаллитная коррозия связана с разрушением границ зерен металла. Понимание этих процессов критически важно для выбора эффективных методов защиты [9].

Для повышения коррозионной стойкости материалов и продления срока службы газовоздушного тракта выделяют несколько решений:

- использование коррозионностойких и жаропрочных материалов [2];
- нанесение защитных покрытий на внутреннюю поверхность газоходов;
- модификация состава сплава, из которого изготавливаются элементы газовоздушного тракта;
- оптимизация условий эксплуатации.

Коррозионностойкие материалы делятся на несколько основных групп в зависимости от их состава и механизма защиты от коррозии. К числу металлических материалов относятся нержавеющая сталь, титановые и никелевые сплавы, которые обладают естественной устойчивостью к коррозии благодаря своему составу и структуре.

Нержавеющие стали содержат хром, который образует защитную оксидную пленку на поверхности металла, предотвращая его дальнейшее разрушение. Нержавеющие стали подразделяются на типы и имеют разные характеристики:

- аустенитные стали обладают отличной коррозионной стойкостью и хорошей пластичностью;
- мартенситные стали более твердые и прочные, но менее устойчивые к коррозии;
- дуплексные стали сочетают в себе свойства аустенитных и мартенситных сталей, обеспечивая высокую прочность и коррозионную стойкость.

Сплавы на основе никеля обладают высокой термостойкостью и коррозионной стойкостью в условиях высоких температур и агрессивных сред.

Титановые сплавы имеют отличную устойчивость к коррозии, особенно в морской среде и при наличии серной кислоты. Однако они более дорогие и менее распространены.

Также существуют неметаллические материалы, такие как полимерные покрытия и композитные материалы, обеспечивающие защиту за счёт формирования физического барьера [3]. Полимерные материалы, такие как полиэтилен и полипропилен, обладают высокой химической стойкостью и легкостью.

Нанесение защитных покрытий на поверхности материалов является еще одним из наиболее распро-

страненных методов борьбы с коррозией [1]. Использование полимерных, полиуретановых, алюминиевых, хромоалюминиевых, цинковых, термобарьерных покрытий, эпоксидных смол или катодной защиты создает барьер между материалом и агрессивной средой.

Современные покрытия, такие как цинкование, эффективно защищают стальные поверхности от коррозии и способствуют увеличению срока службы оборудования. Алюминиевые покрытия образуют защитную пленку Al_2O_3 , стойкую к окислению. Хромоалюминиевые покрытия сочетают в себе преимущества алюминиевых и хромистых покрытий. Эти решения находят широкое применение в промышленности, где долговечность и надежность систем играют критическую роль.

Термобарьерные покрытия (ТБП) состоят из керамического слоя (обычно на основе оксида циркония, стабилизированного иттрием) и металлического связующего слоя. ТБП снижают температуру поверхности материала, тем самым уменьшая скорость коррозии.

Катодная защита представляет собой одну из самых эффективных технологий для предотвращения коррозии металлических конструкций. Этот метод использует электрический ток или жертвенные аноды для снижения коррозионной активности металла. Впервые примененная в начале XX века, катодная защита зарекомендовала себя в различных промышленных областях, включая защиту трубопроводов, резервуаров и других металлических сооружений.

При выборе коррозионностойких материалов для газопроводов необходимо учитывать следующие факторы:

- условия эксплуатации: температура, давление и химический состав окружающей среды играют решающую роль в выборе материала;
- экономические аспекты: сравнение первоначальных затрат на материалы и потенциальных затрат на обслуживание и замену;
- требования к экологии: устойчивость к воздействию химических веществ и возможность переработки материалов после окончания срока службы;
- технологические возможности: способности к производству и монтажу, а также наличие необходимых технологий обработки.

Использование коррозионностойких материалов и защитных покрытий может снизить вероятность выхода ГВТ из строя на 40%, что подчеркивает важность внедрения таких решений для повышения надежности систем и предотвращения аварийных ситуаций.

Подбор коррозионностойких материалов происходит в зависимости от условий эксплуатации газопроводов:

- от температурного режима: низкие температуры (до 100 °C), средние температуры (от 100 °C до 400 °C), высокие температуры (от 400 °C до 1000 °C);
- от химического состава газов: нейтральные

газы, коррозионно-активные газы, влажные кислоты;

- от физических условий: давление в системе, наличие вибраций и механических нагрузок, условия эксплуатации (внешняя среда, наличие абразивных частиц) [10].

Для газопроводов, эксплуатируемых при низких температурах, рекомендуется использовать: нержавеющие стали, обладающие хорошей коррозионной стойкостью к влажным средам, могут быть использованы в условиях умеренной агрессивности; полимерные материалы, обеспечивающие отличную стойкость к химическим веществам и легкость монтажа.

При эксплуатации в диапазоне средних температур целесообразно использовать: аустенитные нержавеющие стали, обладающие высокой стойкостью к коррозии и окислению, особенно в условиях присутствия сернистых соединений; сплавы на основе никеля, которые хорошо переносят высокие температуры и имеют отличную коррозионную стойкость.

Для газопроводов, работающих при высоких температурах: сплавы на основе никеля, которые обеспечивают отличную стойкость к коррозии и окислению при высоких температурах; керамические покрытия, для защиты от высоких температур и коррозии в агрессивных средах.

Для сернистого газа следует использовать нержавеющие стали с высоким содержанием молибдена или никелевые сплавы; для хлористых соединений рекомендуется применять специальные сплавы с защитными покрытиями; для влажных сред, следует применять полимерные материалы или специальные нержавеющие стали с защитными свойствами [12].

Оптимизация условий эксплуатации также может значительно снизить риск коррозии. Примерами могут послужить:

- контроль за температурой, давлением и влажностью газовой среды;
- введение ингибиторов коррозии, которые продлевают срок службы оборудования;
- контроль состава топлива, то есть использование топлива с низким содержанием серы и других вредных примесей;
- оптимизация соотношения воздух/топливо для снижения образования оксидов серы и азота [8];
- удаление из воздуха пыли и других загрязнений, которые могут способствовать коррозии.

Сравнение затрат на производство и установку показывает, что коррозионностойкие материалы требуют больших первоначальных инвестиций. Например, стоимость нержавеющей стали может превышать цену углеродистой стали на 15–20%. Вместе с тем, благодаря их долговечности и меньшим затратам на обслуживание в будущем, такие материалы часто оказываются более

экономически оправданными в долгосрочной перспективе. При этом стоит учитывать, что использование менее дорогих альтернатив может быть затруднено из-за необходимости нанесения защитного слоя [5].

Затраты на обслуживание и ремонт систем из коррозионностойких материалов значительно ниже, чем у традиционных. Это объясняется их высокой устойчивостью к коррозии, что минимизирует необходимость частых ремонтов и замен.

Обобщая, можно сказать, что коррозионностойкие материалы, несмотря на более высокие первоначальные затраты, демонстрируют значительную экономическую эффективность. Их применение позволяет не только снизить расходы на обслуживание, но и увеличить срок службы оборудования, а также сократить аварийные простои.

Подводя итоги всей вышеприведенной информации, важно отметить, что коррозия является одним из главных факторов, сокращающих срок службы

оборудования и увеличивающих затраты на его обслуживание. Анализ современных коррозионностойких материалов и технологий показал их высокую эффективность в защите систем от разрушительных воздействий. Такие материалы, как нержавеющая сталь, титановые сплавы, алюминиевые композиты, а также технологии катодной защиты и антикоррозионных покрытий эффективно справляются с негативным воздействием химически агрессивных газовых сред в газозвушном тракте. Эти решения позволяют значительно увеличить срок службы оборудования и снизить расходы на его эксплуатацию. Кроме того, в ходе экономического анализа была подтверждена целесообразность внедрения коррозионностойких решений. Было выявлено, что несмотря на более высокую стоимость таких материалов и технологий, их применение окупается благодаря снижению затрат на обслуживание и ремонты, а также увеличению надежности и производительности систем.

Литература

1. Айдуганов В. М. Трубы для строительства промышленных трубопроводов и способы их соединения // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2015. – № 2(1382). – С. 73–78.
2. Высокотемпературная солевая коррозия и защита материалов газотурбинных двигателей (обзор) / С. В. Заварзин [и др.] // Труды ВИАМ. – 2022. – № 3(109). – С. 121–134. – <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-3-121-134>.
3. Высокотемпературные композиционные материалы с металлической матрицей (обзор) / Р. В. Батиенков [и др.] // Труды ВИАМ. – 2020. – № 6-7(89). – С. 45–61. – <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-67-45-61>.
4. Зройчиков Н. А. Совершенствование газозвушного тракта энергетических котлов с целью повышения надежности и экономичности энергетического оборудования: автореферат дис. ... доктора техн. наук: 05.14.14 / АО МОСЭНЕРГО. – М., 2000. – 34 с.
5. Карауш С. А., Хуторной А. Н. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство». – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. – 161 с.
6. Коррозия и защита металлов. В 2 ч. Ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов: учебно-методическое пособие / Н. Г. Россина [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 108 с.
7. Ледков А. О. Анализ пары трения конструкции ЭЦН // Сибирский федеральный университет. – URL: <https://core.ac.uk/reader/38637126> (дата обращения: 13.03.2025)
8. Математическое моделирование и оптимизация режимов работы ТЭЦ / М. В. Сидулов [и др.] // Теплоэнергетика. – 1993. – № 10. – С. 21–25.
9. Назарова М. Н., Ценев А. Н. Явление повышения коррозионной стойкости в трубных сталях феррито-перлитного класса // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 09–13 октября 2017 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 84–85.
10. Пеккер Я. Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
11. Рихтер Л. А. Газозвушные тракты тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1969. – 272 с.
12. Рошин Н. Н., Кальницкий П. В. Возможные пути защиты поверхностей нагрева от коррозии во время пуска и остановки оборудования ТЭЦ // Молодой ученый. – 2016. – № 25(129). – С. 64–66.

Статья поступила в редакцию: 13.05.2025; принята в печать: 02.07.2025.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.