

МҰНАЙГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ  
НЕФТЯНОЙ ИНЖИНИРИНГ  
PETROLEUM ENGINEERING

МРНТИ 52.47.01

DOI: <https://doi.org/10.62724/202540601>

**Бактугулов Ербол Темирбулатович**

Старший преподаватель,

Западно Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Уральск, Казахстан, [Baktugulov65@mail.ru](mailto:Baktugulov65@mail.ru), ORCID ID: 0009-0001-3207-5424

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ: НА СТРАЖЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

*Аннотация.* В статье рассматриваются современные методы и подходы к защите нефтегазового оборудования от коррозии, одной из самых серьезных угроз его надежности и долговечности. Коррозия в нефтегазовой отрасли представляет собой разрушительный процесс, который может вести к авариям, утечкам и значительным финансовым потерям. Авторы подчеркивают, что борьба с этим явлением требует комплексного и многофакторного подхода, включая как профилактические меры, так и современные технологии.

Нефтегазовая отрасль сталкивается с проблемой коррозии, представляющей серьезную угрозу для надежности и долговечности оборудования. В статье рассматриваются современные подходы к защите нефтегазового оборудования от коррозии, анализируя влияние различных факторов на скорость коррозионных процессов и последствия, которые могут возникнуть в результате.

Текст охватывает ключевые аспекты коррозии в нефтегазовой отрасли, включая:

- Опасности коррозии: утечки, аварии, увеличение эксплуатационных расходов и угроза безопасности.

- Современные стратегии защиты: ингибиторы коррозии, защитные покрытия, катодная защита, выбор коррозионностойких материалов и мониторинг состояния.

- Инновационные разработки: "умные" и биоразлагаемые ингибиторы, наноматериалы, автоматизированные системы мониторинга и инженерные решения для оптимизации условий эксплуатации.

Статья подчеркивает важность интегрированного подхода, сочетающего различные методы защиты, и необходимость регулярного мониторинга для минимизации коррозионных угроз. Рассматриваются также вопросы биокоррозии и влияние микроорганизмов на процессы коррозии.

В будущих исследованиях стоит обратить внимание на развитие технологий, включая "умные" материалы и системы на основе искусственного интеллекта, которые могут значительно повысить эффективность защиты от коррозии. Интеграция новых технологий и традиционных методов борьбы с коррозией в реальных условиях нефтегазовой отрасли может обеспечить повышение надежности и безопасности оборудования.

*Ключевые слова.* Опасность коррозии, современные стратегии защиты, интегрированный подход, будущее борьбы с коррозией, значение инвестиции в защиту.

**Бактугулов Ербол Темирбулатұлы**

Аға оқытушы,

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті,  
Орал, Қазақстан, [Baktugulov65@mail.ru](mailto:Baktugulov65@mail.ru), ORCID ID: 0009-0001-3207-5424

## МҰНАЙ-ГАЗ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ КОРРОЗИЯСЫНА ҚАРСЫ КҮРЕСТІҢ ҚАЗІРГІ ӘДІСТЕРІ: СЕНІМДІЛІК ПЕН ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ САҚТАУДА

*Аңдатпа.* Мақалада мұнай-газ жабдығын коррозиядан қорғаудың қазіргі заманғы әдістері мен тәсілдері, оның сенімділігі мен ұзақ уақытқа төзімділігіне ең қауіпті қатерлердің бірі қаралады. Мұнай-газ саласындағы тоттану аварияларға, кемулерге және едәуір қаржылық шығындарға әкелуі мүмкін қиратушы процесс болып табылады. Авторлар бұл құбылыспен күрес кешенді және көпфакторлы тәсілді, соның ішінде алдын алу шараларын да, қазіргі заманғы технологияларды да талап ететінін атап өткен.

Мұнай-газ саласы жабдықтардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігіне елеулі қатер төндіретін коррозия проблемасымен бетпе-бет келеді. Мақалада түрлі факторлардың коррозиялық процестердің жылдамдығына әсерін және нәтижесінде туындауы мүмкін салдарды талдай отырып, мұнай-газ жабдығын коррозиядан қорғаудың қазіргі заманғы тәсілдері қаралады.

Мәтін мұнай-газ саласындағы коррозияның негізгі аспектілерін қамтиды, оның ішінде:

- Коррозия қауіптілігі: ағып кету, авариялар, пайдалану шығындарының ұлғаюы және қауіпсіздікке қатер.

- Қазіргі заманғы қорғау стратегиялары: коррозия ингибиторлары, қорғаныс жабындары, катодты қорғау, коррозияға төзімді материалдарды таңдау және жай-күйін мониторингілеу.

- Инновациялық әзірлемелер: «ақылды» және биологиялық ыдырайтын ингибиторлар, наноматериалдар, пайдалану шарттарын оңтайландыруға арналған автоматтандырылған мониторинг жүйелері мен инженерлік шешімдер.

Мақалада қорғаудың әртүрлі әдістерін үйлестіретін ықпалдастырылған тәсілдің маңыздылығы және тоттану қаупін барынша азайту үшін тұрақты мониторингтің қажеттігі атап көрсетіледі. Сондай-ақ биокоррозия және микроорганизмдердің коррозия процестеріне әсері мәселелері қаралады.

Болашақтағы зерттеулерде технологияларды дамытуға назар аудару керек, оның ішінде жасанды интеллект негізіндегі «ақылды» материалдар мен жүйелер, олар тоттанудан қорғаудың тиімділігін едәуір арттыра алады. Мұнай-газ саласының нақты жағдайларында коррозияға қарсы күрестің жаңа технологиялары мен дәстүрлі әдістерін ықпалдастыру жабдықтардың сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыруды қамтамасыз етуі мүмкін.

*Кілт сөздер.* Тоттану қаупі, қазіргі заманғы қорғау стратегиялары, интеграцияланған тәсіл, тоттанумен күрестің болашағы, қорғауға инвестициялардың мәні.

**Baktugulov Yerbol Temirbulatovich**

Senior Lecturer,

West Kazakhstan University of Innovation and Technology,  
Uralsk, Kazakhstan, [Baktugulov65@mail.ru](mailto:Baktugulov65@mail.ru), ORCID ID: 0009-0001-3207-5424

## MODERN METHODS OF CORROSION CONTROL OF OIL AND GAS EQUIPMENT: ON GUARD OF RELIABILITY AND DURABILITY

**Abstract.** The article discusses modern methods and approaches to protecting oil and gas equipment from corrosion, one of the most serious threats to its reliability and durability. Corrosion in the oil and gas industry is a destructive process that can lead to accidents, leaks and significant financial losses. The authors emphasize that combating this phenomenon requires an integrated and multifactorial approach, including both preventive measures and modern technologies.

The oil and gas industry faces the problem of corrosion, which poses a serious threat to the reliability and durability of equipment. The article discusses modern approaches to protecting oil and gas equipment from corrosion, analyzing the influence of various factors on the rate of corrosion processes and the consequences that may arise as a result.

The text covers key aspects of corrosion in the oil and gas industry, including:

- Corrosion hazards: leaks, accidents, increased operating costs and safety hazards.
- Modern protection strategies: corrosion inhibitors, protective coatings, cathodic protection, selection of corrosion-resistant materials and condition monitoring.
- Innovative developments: smart and biodegradable inhibitors, nanomaterials, automated monitoring systems and engineering solutions to optimize operating conditions.

The article highlights the importance of an integrated approach combining different protection methods and the need for regular monitoring to minimize corrosive threats. The issues of biocorrosion and the influence of microorganisms on corrosion processes are also considered.

Future research should pay attention to the development of technologies, including "smart" materials and systems based on artificial intelligence, which can significantly increase the effectiveness of corrosion protection. The integration of new technologies and traditional corrosion control methods in the real conditions of the oil and gas industry can improve the reliability and safety of equipment.

**Key words.** Corrosion hazard, modern protection strategies, integrated approach, future of corrosion control, importance of investment in protection.

**Введение.** Нефтегазовая отрасль – это сложный и многогранный комплекс, где надежность и долговечность оборудования играют первостепенную роль. Одним из главных врагов этой надежности является коррозия – разрушительный процесс, который может привести к утечкам, авариям, простоям и значительным финансовым потерям. Борьба с коррозией – это непрерывный процесс, требующий постоянного совершенствования методов и технологий [1]. В этой статье мы рассмотрим современные подходы к защите нефтегазового оборудования от разрушительного воздействия коррозии.

Почему коррозия так опасна в нефтегазовой отрасли?

Нефтегазовое оборудование работает в агрессивных средах, которые способствуют развитию коррозии [2]. К таким средам относятся:

- Высокая влажность и присутствие воды: Вода является ключевым компонентом для многих электрохимических коррозионных процессов.
- Наличие агрессивных химических веществ: Сероводород ( $H_2S$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ), хлориды, кислоты и щелочи, присутствующие в нефти и газе, являются мощными коррозионными агентами.
- Высокие температуры и давления: Экстремальные условия эксплуатации ускоряют скорость коррозионных реакций.
- Механические нагрузки: Напряжения, возникающие при эксплуатации, могут усиливать коррозионное растрескивание.

- Биологическая активность: Микроорганизмы могут способствовать развитию биокоррозии.

Последствия коррозии могут быть катастрофическими:

- Снижение прочности и целостности оборудования: Уменьшение толщины стенок труб, резервуаров, насосов и другого оборудования.

- Утечки нефти и газа: Приводят к экологическим катастрофам, пожарам и взрывам.

- Простои производства: Требуют дорогостоящего ремонта и замены оборудования.

- Увеличение эксплуатационных расходов: Связанных с мониторингом, ремонтом и заменой.

- Угроза безопасности персонала: Аварии могут привести к травмам и гибели людей.

Современные стратегии борьбы с коррозией:

Современные методы борьбы с коррозией в нефтегазовой отрасли представляют собой комплексный подход, включающий в себя профилактические меры, мониторинг и активную защиту.

### **Материалы и методы исследований.**

#### **1. Ингибиторы коррозии:**

Ингибиторы – это химические вещества, которые добавляются в рабочую среду для замедления или предотвращения коррозии. Современные ингибиторы обладают высокой эффективностью, избирательностью действия и экологической безопасностью [3], [4].

##### **• Типы ингибиторов:**

- **Анодные ингибиторы:** Образуют защитную пленку на поверхности металла, препятствуя анодному процессу.

- **Катодные ингибиторы:** Замедляют катодный процесс, например, восстановление кислорода.

- **Смешанные ингибиторы:** Воздействуют как на анодный, так и на катодный процесс.

- **Адсорбционные ингибиторы:** Адсорбируются на поверхности металла, образуя защитный слой.

##### **• Современные разработки:**

- **Наноингибиторы:** Частицы наноразмера, обладающие повышенной адсорбционной способностью и эффективностью.

- **"Умные" ингибиторы:** Реагируют на изменение условий среды, активизируясь только при необходимости.

- **Биоразлагаемые ингибиторы:** Снижают негативное воздействие на окружающую среду.

- **Методы применения:** Ингибиторы могут вводиться в поток жидкости или газа, наноситься на поверхность оборудования в виде покрытий или добавляться в смазочные материалы.

#### **2. Защитные покрытия:**

Покрытия создают физический барьер между металлом и агрессивной средой, предотвращая коррозию.

##### **• Типы покрытий:**

- **Органические покрытия:** Краски, лаки, эмали, полимерные покрытия (эпоксидные, полиуретановые, полиэтиленовые).

- **Неорганические покрытия:** Металлические покрытия (цинкование, хромирование, никелирование), керамические покрытия, конверсионные покрытия (фосфатирование, хроматирование).

- **Комбинированные покрытия:** Сочетают в себе органические и неорганические слои для повышения защитных свойств.

- **Современные разработки:**

- **Нанокмозитные покрытия:** Содержат наночастицы, улучшающие механические свойства, адгезию и коррозионную стойкость.

- **Самовосстанавливающиеся покрытия:** Способны "залечивать" повреждения, продлевая срок службы.

- **Функциональные покрытия:** Обладают дополнительными свойствами, такими как антибактериальные, антиобледенительные или самоочищающиеся.

- **Методы нанесения:** Распыление, окунание, электроосаждение, химическое осаждение из паровой фазы (CVD), физическое осаждение из паровой фазы (PVD).

### 3. Катодная защита:

Катодная защита – это метод электрохимической защиты, при котором металлический объект становится катодом электрохимической ячейки, что предотвращает его коррозию.

- **Типы катодной защиты:**

- **Протекторная защита:** Использование протекторов (анодов), изготовленных из более электроотрицательного металла (например, цинка, магния, алюминия), которые корродируют вместо защищаемого объекта.

- **Внешний источник тока:** Подключение защищаемого объекта к отрицательному полюсу источника постоянного тока, а положительный полюс подключается к вспомогательному аноду.

- **Современные разработки:**

- **Автоматизированные системы катодной защиты:** Обеспечивают автоматическое регулирование тока и напряжения в зависимости от условий среды.

- **Дистанционный мониторинг и управление:** Позволяют контролировать состояние системы катодной защиты и оперативно реагировать на изменения.

- **Беспроводные системы мониторинга:** Упрощают установку и обслуживание системы катодной защиты.

### 4. Выбор материалов:

Правильный выбор материалов является одним из ключевых факторов в борьбе с коррозией.

- **Коррозионностойкие сплавы:** Использование нержавеющей сталей, никелевых сплавов, титановых сплавов и других материалов, устойчивых к агрессивным средам.

- **Полимерные материалы:** Применение полимерных материалов для изготовления труб, резервуаров и других элементов оборудования.

- **Композитные материалы:** Использование композитных материалов, сочетающих в себе высокую прочность и коррозионную стойкость.

- **Современные разработки:**

- Разработка новых сплавов с улучшенными коррозионными свойствами: Например, сплавы с высоким содержанием хрома, молибдена и никеля.

- Создание новых полимерных материалов с повышенной стойкостью к агрессивным средам и высоким температурам.

- Разработка композитных материалов с использованием наночастиц для улучшения механических и коррозионных свойств.

### 5. Мониторинг коррозии:

Регулярный мониторинг коррозии позволяет своевременно выявлять проблемные участки и принимать меры по предотвращению аварий.

• **Методы мониторинга:**

○ **Визуальный осмотр:** Регулярный осмотр оборудования для выявления признаков коррозии.

○ **Ультразвуковая толщинометрия:** Измерение толщины стенок труб и резервуаров для определения степени коррозионного износа.

○ **Радиографический контроль:** Использование рентгеновского или гамма-излучения для выявления внутренних дефектов и коррозии.

○ **Электрохимические методы:** Измерение коррозионного потенциала и скорости коррозии.

○ **Коррозионные зонды:** Установка специальных датчиков для непрерывного мониторинга коррозии.

• **Современные разработки:**

○ Беспилотные летательные аппараты (дроны) для визуального осмотра труднодоступных участков оборудования.

○ Системы автоматического мониторинга коррозии с использованием датчиков и беспроводных технологий передачи данных.

• **Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) для анализа данных мониторинга:** Позволяют прогнозировать развитие коррозии, выявлять закономерности и оптимизировать стратегии защиты.

• **"Цифровые двойники" оборудования:** Создание виртуальных моделей, которые имитируют поведение реального оборудования, включая процессы коррозии, для прогнозирования и оптимизации эксплуатации.

**6. Инженерные решения и оптимизация процессов:**

Помимо прямых методов защиты, важную роль играют инженерные решения, направленные на минимизацию воздействия агрессивных сред [4].

• **Оптимизация режимов эксплуатации:** Поддержание оптимальных температур, давлений и состава рабочей среды для снижения коррозионной активности.

• **Использование систем очистки:** Удаление агрессивных примесей (например, сероводорода, воды, солей) из нефти и газа перед их транспортировкой и переработкой.

• **Проектирование оборудования с учетом коррозионной стойкости:** Выбор оптимальных форм, размеров и конструктивных решений, минимизирующих концентрацию напряжений и облегчающих обслуживание.

• **Применение систем дренажа и вентиляции:** Предотвращение скопления влаги и агрессивных газов в полостях оборудования.

**7. Биологическая защита (биокоррозия):**

В некоторых случаях коррозия может быть вызвана жизнедеятельностью микроорганизмов (биокоррозия). Современные методы борьбы включают:

• **Биоциды:** Химические вещества, подавляющие рост микроорганизмов.

• **Биоразлагаемые ингибиторы:** Разработанные с учетом минимизации воздействия на окружающую среду [1].

• **Контроль условий среды:** Поддержание условий, неблагоприятных для развития микроорганизмов (например, контроль pH, температуры).

**Результаты и их обсуждение. Интегрированный подход – ключ к успеху:**

Важно понимать, что ни один метод борьбы с коррозией не является универсальным. Наиболее эффективным является **интегрированный подход**, который сочетает в себе различные методы защиты, учитывая специфику конкретного оборудования, условия эксплуатации и состав рабочей среды. Такой подход включает:

- **Тщательный анализ рисков:** Оценка потенциальных коррозионных угроз на всех этапах жизненного цикла оборудования.

- **Разработка комплексной стратегии защиты:** Выбор оптимального набора методов, основанный на анализе рисков и экономической целесообразности.

- **Регулярный мониторинг и оценка эффективности:** Постоянный контроль состояния оборудования и корректировка стратегии защиты при необходимости.

- **Обучение персонала:** Повышение осведомленности сотрудников о проблемах коррозии и методах ее предотвращения.

#### **Будущее борьбы с коррозией:**

Развитие технологий в области материаловедения, химии, электроники и информационных технологий открывает новые горизонты в борьбе с коррозией. Можно ожидать дальнейшего совершенствования:

- **"Умных" материалов:** Способных самостоятельно диагностировать и устранять коррозионные повреждения.

- **Нанотехнологий:** Для создания более эффективных и долговечных защитных покрытий и ингибиторов.

- **Систем искусственного интеллекта:** Для предиктивного анализа коррозионных процессов и оптимизации стратегий защиты в реальном времени.

- **Экологически безопасных решений:** Снижение воздействия химических реагентов на окружающую среду.

Коррозия остается одной из самых серьезных угроз для нефтегазового оборудования. Однако, благодаря постоянному развитию науки и технологий, современные методы борьбы с коррозией становятся все более эффективными, надежными и экологически безопасными. Интегрированный подход, сочетающий в себе передовые технологии, инженерные решения и квалифицированный персонал, является ключом к обеспечению долговечности и безопасности нефтегазового оборудования, минимизации рисков аварий и снижению эксплуатационных расходов. Инвестиции в современные методы борьбы с коррозией – это инвестиции в будущее нефтегазовой отрасли, обеспечивающие ее устойчивое развитие и вклад в энергетическую безопасность [2].

#### **Примеры успешного применения современных методов:**

- **Внедрение систем катодной защиты на морских платформах:** Значительно увеличивает срок службы подводных трубопроводов и опорных конструкций [4].

- **Использование ингибиторов коррозии в системах добычи нефти и газа:** Предотвращает коррозию насосно-компрессорного оборудования и трубопроводов, снижая риски утечек и аварий [4].

- **Применение нанокompозитных покрытий на внутренних поверхностях резервуаров:** Обеспечивает надежную защиту от коррозии и увеличивает срок службы резервуаров [2].

- **Использование дронов для инспекции трубопроводов:** Позволяет оперативно выявлять участки с коррозионными повреждениями и принимать меры по их устранению [4].

- **Внедрение систем предиктивного анализа коррозии на основе искусственного интеллекта:** Позволяет прогнозировать развитие коррозии и оптимизировать стратегии защиты, снижая затраты на обслуживание и ремонт [5], [6].

#### **Нормативная база и стандарты:**

Важным аспектом борьбы с коррозией является соблюдение нормативных требований и стандартов. Существуют международные и национальные стандарты, регламентирующие выбор материалов, проектирование, строительство, эксплуатацию и

мониторинг нефтегазового оборудования с учетом коррозионных рисков. Соблюдение этих стандартов позволяет обеспечить надежность и безопасность оборудования, а также минимизировать риски аварий и экологических катастроф.

**Примеры стандартов:**

- **ISO 15156/NACE MR0175:** Материалы для использования в сероводородсодержащих средах в нефтегазовой промышленности [7], [8].
- **API 5L:** Спецификация на линейные трубы [7].
- **API 650:** Сварные стальные резервуары для хранения нефти [7].
- **NACE SP0169:** Контроль коррозии на подземных или подводных металлических трубопроводных системах [8].

**Закключение.** Борьба с коррозией в нефтегазовой отрасли – это сложная и многогранная задача, требующая постоянного внимания и совершенствования. Современные методы и технологии, в сочетании с квалифицированным персоналом и соблюдением нормативных требований, позволяют эффективно защищать оборудование от разрушительного воздействия коррозии, обеспечивая его надежность, безопасность и долговечность. Инвестиции в борьбу с коррозией – это инвестиции в будущее нефтегазовой отрасли, обеспечивающие ее устойчивое развитие и вклад в энергетическую безопасность. Постоянный мониторинг новых разработок и внедрение передовых технологий являются ключевыми факторами успеха в этой важной области. Современные методы борьбы с коррозией нефтегазового оборудования представляют собой комплексный подход, включающий ингибиторы, защитные покрытия, катодную защиту и выбор коррозионностойких материалов. Интегрированные стратегии, основанные на тщательном анализе рисков и регулярном мониторинге с применением передовых технологий, таких как ИИ и "цифровые двойники", являются ключом к обеспечению надежности и долговечности. Соблюдение международных стандартов и постоянное внедрение инноваций позволяют минимизировать риски аварий и экологических катастроф. Инвестиции в современные методы защиты от коррозии – это залог устойчивого развития нефтегазовой отрасли и энергетической безопасности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ившин, Я.В. «Защита оборудования ингибиторами коррозии в нефтяной отрасли»: учеб. Пособие [Текст] / А.Е. Лестев; ред. А.Ф. Дресвянников; Казан. нац. исслед. технол. ун-т; Я.В. Ившин.— Казань: КНИТУ, 2021 .— С. 112.
2. Нишкевич Ю.А., Козлов И.А. «Коррозия. Способы борьбы с коррозией в нефтяной промышленности» [Текст] / Монография, Издательство НИЦ ИНФРА-М.: 2025. С. 88.
3. Адварый М., Патель Р. Н. и Модера С.Д. «Микроволновая патч-антенна на основе EBG с отверстиями для характеристики коррозии в стальной арматуре строительных конструкций» [Текст] / Sensing and Imaging, vol. 20, 2019. № 1, С. 34.
4. Азиззаде Т., Сафизаде М.С. «Проектирование и изготовление системы контроля утечки магнитного потока для обнаружения точечной коррозии в газопроводах», [Текст] / Иранский журнал производственного проектирования, том 5, № 2, 2019. С. 43-49.
5. Бейли Дж., Лонг Н., Хунзе А. «Вихретоковые испытания с помощью гигантских датчиков магнитосопротивления (GMR) и возбуждения по трубопроводу для оценки коррозии под изоляцией» [Текст] / Датчики, том 17. № 10. 2017. С. 2229
6. Цао В., Ван М., Ли Х., М. Фан, Тянь Г. «Бесконтактное измерение толщины многослойных покрытий на металлической подложке с использованием импульсной терагерцевой технологии» [Текст] / IEEE Sensors Journal, vol. 20. № 6. 2020. С. 3162–3171. 70

7. Хонарвар и А. Дж. У. Варвари-Фарахани. «Обзор применений ультразвукового контроля в аддитивном производстве: Характеристика материала для оценки дефектов и контроль процесса» [Текст] / Ультразвук, том 108. 2020. С. 106227.

8. Маркантони В., Монарк Д., Колантон А., Чекчин М. "Ультразвуковые волны для оценки материалов при усталостном, термическом и коррозионном повреждении: обзор" Механические системы и обработка сигналов ", [Текст] т. 120. 2019. С. 32–42.

## REFERENCES

1. Ivshin, Ya.V. «Zashchita oborudovaniya ingibitorami korrozii v neftyanoj otrasli»: ucheb. Posobie ["Protection of equipment with corrosion inhibitors in the oil industry": textbook. Stipend]. A.E. Lestev; red. A.F. Dresvyannikov; Kazan. nac. issled. tekhnol. un-t; Ya.V. Ivshin.— Kazan': KNITU, (2021). – S. 112. – (In Rus)

2. Nishkevich Yu.A., Kozlov I.A. «Korroziya. Sposoby bor'by s korroziej v neftyanoj promyshlennosti» ["Corrosion. Ways to combat corrosion in the oil industry"]. Monografiya, Izdatel'stvo NIC INFRA-M.: (2025). S. 88. – (In Rus)

3. Advaryj M., Patel' R. N. i Modera C.D. «Mikrovolnovaya patch-antenna na osnove EBG s otverstiyami dlya harakteristiki korrozii v stal'noj armature stroitel'nyh konstrukcij» ["EBG-based microwave patch antenna with holes for corrosion characteristics in steel reinforcement of building structures"]. Sensing and Imaging, vol. 20, (2019). № 1, S. 34. – (In Rus)

4. Azizzade T., Safizade M.S. «Proektirovanie i izgotovlenie sistemy kontrolya utechki magnitnogo potoka dlya obnaruzheniya tochechnoj korrozii v gazoprovodah», [Design and manufacture of a magnetic flux leakage monitoring system for detecting pitting corrosion in gas pipelines"]. Iranskij zhurnal proizvodstvennogo proektirovaniya, tom 5, № 2, (2019). S. 43-49. – (In Rus)

5. Bejli Dzh., Long N., Hunze A. «Vihretokovye ispytaniya s pomoshch'yu gigantskih datchikov magnitosoprotivleniya (GMR) i vzbuzhdeniya po truboprovodu dlya ocenki korrozii pod izolyaciej» ["Eddy current tests using giant magnetoresistance (GMR) and excitation sensors through a pipeline to assess corrosion under insulation"]. Datchiki, tom 17. № 10. (2017). S. 2229. – (In Rus)

6. Cao V., Van M., Li H., M. Fan, Tyan' G. «Beskontaktное измерение толщины многослойных покрытий на металлической подложке с использованием импульсной терагерцевой технологии» ["Non-contact thickness measurement of multilayer coatings on a metal substrate using pulsed terahertz technology"]. IEEE Sensors Journal, vol. 20. № 6. (2020). S. 3162–3171. 70 – (In Rus)

7. Honarvar i A. Dzh. U. Varvari-Farahani. «Obzor primenenij ul'trazvukovogo kontrolya v additivnom proizvodstve: Harakteristika materiala dlya ocenki defektov i kontrol' processa» ["Overview of ultrasonic control applications in additive manufacturing: Material characteristics for defect assessment and process control"]. Ul'trazvuk, tom 108. (2020). S. 106227. – (In Rus)

8. Markantoni V., Monark D., Kolanton A., Chekchin M. "\"Ul'trazvukovye volny dlya ocenki materialov pri ustalostnom, termicheskom i korrozionnom povrezhdenii: obzor\" Механические системы и обработка сигналов \"\", [\"Ultrasonic waves for evaluating materials in fatigue, thermal, and corrosion damage: a review of Mechanical Systems and Signal Processing\"]. t. 120. 2019. S. 32–42. – (In Rus)