

**КЛАССИФИКАЦИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ
РОБОТОВ-ДЕФЕКТОСКОПОВ
CLASSIFICATION OF IN-TUBE ROBOTS FOR FLAW DETECTION**

Боровинский Д.Д., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

danilborovinsky@yandex.ru

Borovinsky D.D., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE “Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov”

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье представлены различные системы классификации внутритрубных роботов, применяемых для дефектоскопии трубопроводов. Рассмотрены особенности конструкции таких устройств, а также представлены примеры существующих моделей. Дополнительно обсуждаются возможные направления развития технологий в данной области.

Summary: The article presents various classification systems for in-tubs robots used for pipeflaw detection. The design features of such devices considered, and examples of existing models presented. Additionally, possible directions for technology development in this area are discussed.

Ключевые слова: диагностика трубопроводов, дефектоскопия, внутритрубные роботы, системы классификации.

Keywords: pipeline diagnostics, flaw detection, in-tube robots, classification systems.

Введение

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью регулярного мониторинга состояния трубопроводов для обеспечения их

надежности и безопасности. Внутритрубные роботы-дефектоскопы представляют собой передовые технологические решения, позволяющие эффективно и точно диагностировать состояние труб без необходимости их демонтажа или остановки эксплуатации. Возможность проведения инспекции без необходимости прекращения работы трубопровода является главным преимуществом. Это особенно важно для предприятий, где остановка производства может повлечь значительные финансовые потери [1].

Внутритрубные роботы-дефектоскопы играют ключевую роль в обеспечении долговечности и безопасности трубопроводных систем. Они используются в широком спектре отраслей, начиная от нефтегазового сектора и заканчивая коммунальным хозяйством. Одной из главных задач этих устройств является своевременное выявление коррозионных повреждений, трещин, утечек и прочих дефектов, которые могут привести к аварийным ситуациям.

Помимо уже зарекомендовавших себя технологий, продолжаются исследования и разработки новых методов и конструкций внутритрубных роботов. В частности, уделяется внимание повышению точности измерений, улучшению маневренности аппаратов в сложных условиях и расширению возможностей интеграции данных.

Таким образом, внутритрубные роботы-дефектоскопы являются важным элементом современной промышленной инфраструктуры, способствующим повышению уровня безопасности и экономической эффективности эксплуатации трубопроводных систем [2].

Классификация внутритрубных роботов-дефектоскопов

Существуют различные системы классификации роботов для диагностики и дефектоскопии трубопроводов. Так, например, в работе [3] для классификации роботов, перемещающихся по трубам, предлагаются следующие критерии (классификационные признаки):

- поверхность трубы, по которой перемещается робот (внешняя или внутренняя);
- управляемость конструкции (активность или пассивность);
- тип контакта с поверхностью трубы;
- возможность движения «с распором» и управления нормальными реакциями в опорах;
- возможность управления силой трения в опорах;
- вид опорного элемента;
- типы привода;

– типы трансмиссии.

Важным признаком, позволяющим классифицировать внутритрубные роботы, является способ (принцип) перемещения робота внутри трубы и связанные с этим конструктивные особенности робота. В соответствии с этим признаком выделяют следующие девять разновидностей внутритрубных роботов [4]:

- 1) пассивные роботы, перемещаемые потоком жидкости или газа;
- 2) роботы, использующие червеподобный способ движения;
- 3) роботы, использующие змееподобный способ движения;
- 4) шагающие роботы;
- 5) колесные роботы;
- 6) гусеничные роботы;
- 7) вибрационные роботы;
- 8) роботы с гибкими и упругими звеньями;
- 9) роботы с изменяемой формой корпуса.

Роботы-дефектоскопы также классифицируются по различным критериям, важнейшим среди которых является используемый метод диагностики (дефектоскопии). Среди методов внутритрубной диагностики необходимо выделить следующие [5]:

– метод магнитной дефектоскопии, основанный на регистрации показателей рассеяния, образованного при намагничивании стенки трубы (поток вектора магнитной индукции в месте расположения дефекта не стабилен, т.е. рассеян). Преимуществами данного метода являются эффективное определение вида, местоположения и размера дефекта, низкая стоимость, высокая чувствительность приборов. Недостатками метода являются требование одинакового диаметра трубы на всем диагностируемом участке, контроль дефектов может проводиться лишь для некоторых материалов трубопровода, средняя надежность оборудования;

– метод вихревой дефектоскопии, основанный на фиксации значений электромагнитного поля вихревых токов, которые образуются вблизи дефектов в магнитном поле. После обработки результатов измерений по параметрам, отклоняющимся от нормы, можно выявить наличие дефектов. Преимуществами данного метода являются высокая скорость диагностики, средняя стоимость, высокая точность результатов и чувствительность приборов. Недостатками метода являются небольшая глубина исследования, контроль дефектов может

проводиться лишь для некоторых материалов трубопровода, средняя надежность оборудования;

- метод акустической дефектоскопии с помощью направленных волн (волны Лэмба), основанный на фиксации ультразвуковых волн, отраженных от дефектов. Ультразвуковая волна посылается датчиками в обе стороны диагностируемого трубопровода, при этом регистрируются волны, отраженные от дефектов, после чего формируется карта диагностируемого участка. Преимуществом данного метода является высокая скорость диагностики. Недостатками метода являются низкая чувствительность оборудования, зависимость степени точности результатов от материала трубопровода;

- метод ультразвуковой дефектоскопии (эхо-метод), основанный на посылке дефектоскопом ультразвукового сигнала к исследуемому участку трубы и фиксации временного интервала возврата эхо-сигнала, отраженного от дефекта. Преимуществами данного метода являются возможность обнаружения дефектов на поверхности и в глубине стенок трубы, контроль дефектов может проводиться практически на всех видах материала трубопровода. Недостатками метода являются высокая стоимость, низкая скорость диагностики, средний уровень надежности оборудования;

- метод акустической томографии, основанный на вибрации отдельных элементов трубы под воздействием пульсации давления на трубопроводе и эмиссии сигналов акустических частот, которые распространяются по транспортируемой среде. Прибор фиксирует резонансную амплитуду при совпадении импульса с собственной частотой колебания дефекта. Преимуществами данного метода являются отсутствие необходимости изменения давления в трубопроводе для проведения диагностики, высокая точность результатов и чувствительность оборудования, большой спектр диагностируемых дефектов. Недостатком метода является ограничения по минимальным параметрам транспортируемой среды (скорость не менее 1 м/с, давление не менее 0,25 МПа).

Наиболее распространенными видами роботов-дефектоскопов являются следующие:

- ультразвуковые роботы-дефектоскопы используют ультразвуковые волны для сканирования стенок труб. Этот метод позволяет измерять толщину стенок, выявлять трещины, расслоения и другие внутренние дефекты. Ультразвуковые роботы часто применяются для обследования толстостенных трубопроводов и могут использоваться в различных средах, включая газо- и нефтепроводы;

– магнитопорошковые роботы-дефектоскопы применяют принцип магнетизма для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов. Данный подход особенно эффективен для металлических трубопроводов, поскольку магнитное поле помогает обнаружить нарушения целостности материала. Магнитопорошковые роботы широко используются в нефтегазовой отрасли и энергетике;

– рентгеновские роботы-дефектоскопы генерируют рентгеновское излучение, которое проходит через материал трубы и фиксирует наличие дефектов. Данный метод подходит для выявления скрытых дефектов, недоступных для других видов диагностики. Однако использование рентгеновского оборудования требует строгого соблюдения норм радиационной безопасности;

– термографические роботы-дефектоскопы анализируют тепловое излучение от поверхности трубы, чтобы определить места с аномальным температурным режимом. Такие роботы помогают выявить участки с повышенной температурой, что может свидетельствовать о наличии коррозии или других проблем. Термографические роботы находят применение в энергетическом секторе и коммунальных системах;

– оптические роботы-дефектоскопы оснащены высокоточными видеокамерами, позволяющими визуально осматривать внутреннюю поверхность труб. Они подходят для оценки состояния покрытия, выявления засорений и механических повреждений трубопроводов. Оптические роботы активно используются в системах водоснабжения и канализации;

– комбинированные роботы-дефектоскопы объединяют несколько методов диагностики в одной платформе. Это позволяет получать более полную картину состояния трубопровода, комбинируя различные подходы для повышения точности и достоверности результатов. Комбинированные роботы становятся всё более популярными благодаря своей универсальности и способности адаптироваться к разным условиям эксплуатации.

Различные принципы работы, используемые роботами-дефектоскопами, определяют их функциональность и применимость в тех или иных условиях. Тем не менее, существуют общие критерии, по которым можно оценить оборудование для диагностики методом неразрушающего контроля. При выборе робота-дефектоскопа необходимо обращать внимание на следующие параметры:

1) Разрешение дефектоскопа, определяющее точность измерения размеров дефектов.

2) Скорость диагностики, для которой обычно наблюдается зависимость: чем выше скорость, тем ниже точность определения дефекта.

3) Способ крепления прибора, обуславливающий удобство монтажа и демонтажа устройства и влияющий на оперативность работы.

4) Защита от внешних воздействий, включая защиту от влаги, давления, осадков и других факторов окружающей среды.

5) Температурный режим, влияющий на точность измерений при экстремально высоких или низких температурах, при которых устройство может выйти из строя.

Учет всех этих факторов позволяет выбрать оптимальный робот-дефектоскоп для конкретных условий эксплуатации.

Примеры различных внутритрубных роботов-дефектоскопов

1) Пассивный робот-дефектоскоп, в качестве которого выступает так называемый инспекционный снаряд, – автономное устройство типа поршня (англ. pig – жаргонный термин, переводящийся как свинья или «чушка»), перемещаемое внутри трубопровода под напором перекачиваемого продукта (нефти, нефтепродуктов, газа и других). Подобное устройство оснащено аппаратурой для ультразвукового или магнитного неразрушающего контроля состояния трубы, для записи и хранения данных контроля и вспомогательной служебной информации, а также источниками питания этой аппаратуры.

Пример внутритрубного инспекционного снаряда, представленный в описании патента RU 2 400 738 C1 (авторы изобретения Евсюков И.П., Цацуев М.С.), показан на рисунке 1 [6].

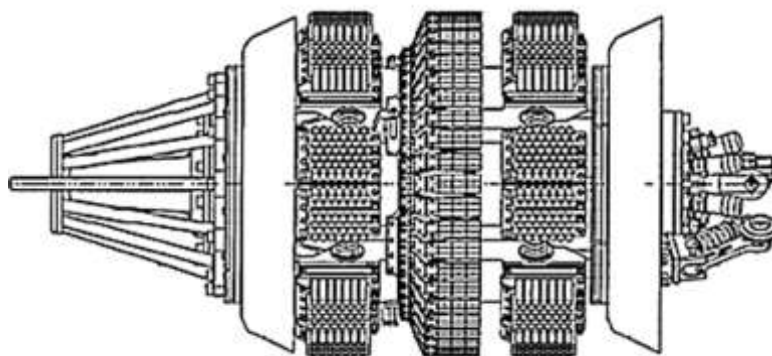


Рисунок 1 – Пример внутритрубного инспекционного снаряда

На корпусе внутритрубного инспекционного снаряда установлены датчики магнитного поля и колебательные контуры, каждый из которых содержит пару индуктивных катушек. Колебательный контур подключен к входу выпрямителя, выход которого подключен к входу интегратора. В процессе перемеще-

ния по трубе дефектоскоп выполняет измерения с помощью датчиков и колебательных контуров. Колебательный контур периодически возбуждают единичным электрическим импульсом и измеряют характеристику затухания колебаний в нем. Наличие дефекта в трубе идентифицируют по указанной характеристике затухания.

2) Внутритрубный шагающий робот. В настоящее время это достаточно экзотическая разновидность внутритрубного робота. Исследования этой разновидности роботов имеют в основном теоретический характер (см., например, [7, 8]). Однако, имеются также немногочисленные примеры практически реализованных внутритрубных шагающих роботов-дефектоскопов (например, разработанный в Германии в 1998 г. робот, который был назван MORITZ [5]). Внешний вид внутритрубного шагающего робота MORITZ показан на рисунке 2.

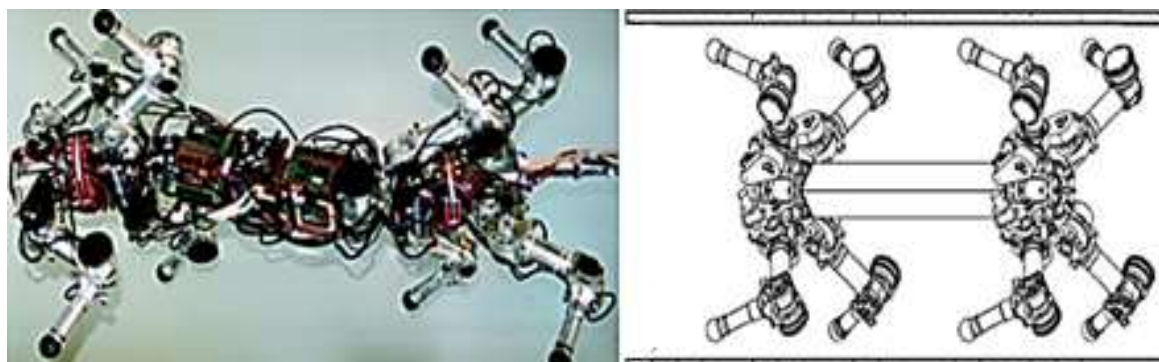


Рисунок 2 – Внешний вид и общая схема внутритрубного шагающего робота

Шагающий робот-дефектоскоп MORITZ способен перемещаться в трубах диаметром 600...700 мм и может быть запрограммирован на различные типы походов в зависимости от вида преодолеваемого препятствия. Под препятствием в данном случае понимают Y- или T-образное разветвление трубы, поворот трубы, крупный дефект на внутренней поверхности трубы или наличие сварного шва. Одним из преимуществ шагающего робота по сравнению с колесным является возможность преодоления препятствий в виде ступеней. В качестве недостатка данной разновидности роботов можно отметить низкую скорость передвижения при вертикальном подъеме робота по трубе.

3) Внутритрубный колесный робот-дефектоскоп. Более частая разновидность практически используемого внутритрубного робота-дефектоскопа. В качестве примера такого робота можно привести транспортный модуль внутритрубного диагностического робота, который представлен в описании патента RU 2 802 383 C1 (авторы Седелев Ю.А., Макарычев Д.А., Кадров А.А. и др.). Способ установки и перемещения транспортного модуля диагностического робота в трубе проиллюстрирован на рисунке 3.

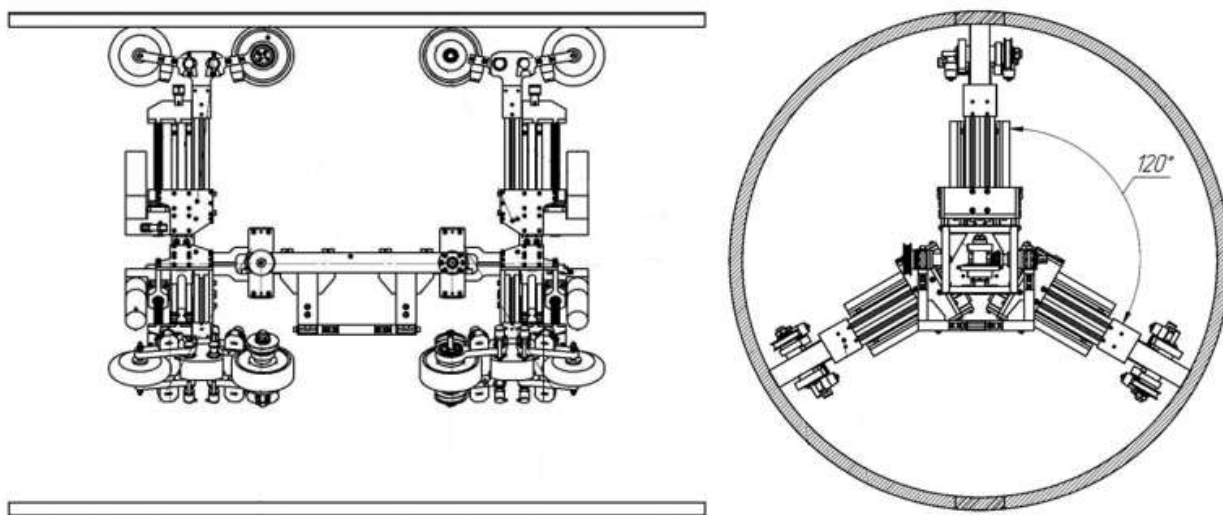


Рисунок 3 – Размещение транспортного модуля робота внутри трубы

Транспортный модуль внутритрубного диагностического модуля содержит два несущих основания, каждый из которых установлен на трех опорных ногах, расположенных радиально под углом 120° друг к другу, с независимыми приводными колесными движителями. Основания соединены друг с другом с помощью двухосевых шарниров, что обеспечивает как прямолинейное движение, когда шарниры блокируются, так и прохождение поворотов в трубе, когда выполняются согласованные повороты шарниров независимо вокруг каждой пары параллельных осей степеней подвижности шарниров.

Для каждой из шести опорных ног обеспечивается качание рычага ноги в радиальной плоскости трубы. Такая кинематическая схема транспортного модуля с качающимися рычагами опорных ног позволяет преодолевать переходы при движении по трубе с конусной внутренней поверхностью за счет изменения наклона рычагов к оси трубы.

4) Внутритрубный ползающий робот-дефектоскоп относится к роботам, перемещающимся по трубам за счет скольжения. К таким роботам относятся роботы, выполняющие змее- и червеподобные, а также ввинчивающиеся движения [3].

Змееподобные роботы передвигаются, совершая серию синусоидальных волн вдоль направления движения параллельно поверхности, что позволяет им перемещать свой центр масс поступательно.

Червеподобные роботы перемещаются за счет циклического сжатия и растяжения отдельных звеньев конструкции вдоль направления движения вдоль направления движения, причем звенья могут располагаться как с распором, так и без распора.

Роботы с ввинчивающейся конструкцией перемещаются аналогично за-
винчивающемуся винту, причем при движении они располагаются в трубе рас-
пором.

Внешний вид внутритрубного червеподобного робота показан на рисун-
ке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид внутритрубного червеподобного робота

5) Многозвенный колесный внутритрубный робот. Многозвенная система обеспечивает хорошую гибкость при прохождении сложных участков трубопровода. Особая колесная система позволяет применять такой робот для перемещения по трубопроводу с переменным внутренним диаметром. Внутритрубный робот должен включать в себя четыре основных блока: сенсорную подсистему, центральный блок управления, подсистему исполнительных механизмов и интерфейс оператора, поэтому его главной особенностью является модульность. Внешний вид многозвеного колесного внутритрубного робота показан на рисунке 5.

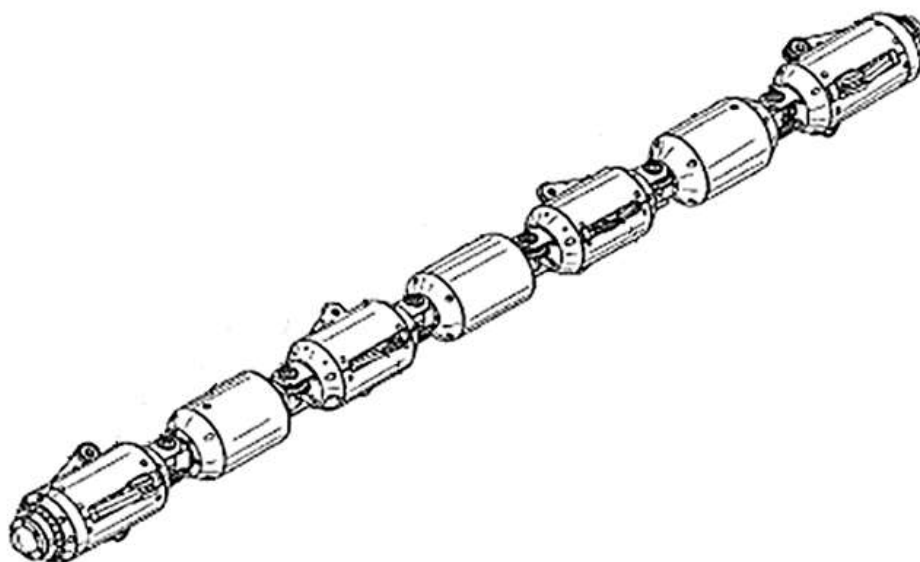


Рисунок 5 –Внешний вид многозвеного колесного внутритрубного робота

Преимущества внутритрубных роботов-дефектоскопов

Внутритрубные роботы-дефектоскопы обладают рядом преимуществ, ко-
торые делают их использование в процессе диагностики и обслуживания тру-

бопроводов целесообразным и эффективным. В ряду этих преимуществ можно выделить следующие:

- использование современных датчиков и алгоритмов обработки данных обеспечивает точное определение местоположения и характера дефектов;
- возможность выявления мелких трещин, коррозии и других скрытых повреждений, которые трудно обнаружить традиционными методами;
- роботы могут функционировать без постоянного присутствия оператора, что уменьшает нагрузку на персонал и снижает вероятность человеческих ошибок;
- многие модели роботов способны работать без необходимости остановки или частичного отключения трубопровода, что снижает производственные издержки и время простоя;
- это особенно актуально для критически важных инфраструктурных объектов, таких как магистральные нефте- и газопроводы;
- роботы устраняют необходимость прямого контакта персонала с потенциально опасными условиями, такими как высокие давления, токсичные вещества или экстремальные температуры;
- меньше расходов на демонтаж и повторную установку трубопроводов после диагностики;
- большинство роботов оснащены системами записи и хранения данных, что позволяет создавать подробные отчёты и архивы для последующего анализа;
- своевременное обнаружение утечек и повреждений предотвращает выбросы вредных веществ в окружающую среду, уменьшая экологический ущерб;
- интеграция внутритрубных роботов с системами искусственного интеллекта и машинного обучения открывает возможности для ещё большего улучшения качества диагностики и предсказательной аналитики.

В совокупности эти преимущества делают внутритрубные роботы-дефектоскопы важными элементами современной промышленной инфраструктуры, способствующими повышению надёжности, безопасности и экономической эффективности эксплуатации трубопроводных систем.

Перспективы развития внутритрубных роботов-дефектоскопов

Перспективы развития внутритрубных роботов-дефектоскопов связаны с внедрением инновационных технологий и улучшением существующих решений. Основные направления развития представлены ниже.

Интеллектуализация и машинное обучение: разработка алгоритмов искусственного интеллекта для автоматической интерпретации данных, полученных в ходе диагностики, применение машинного обучения для прогнозирования износа и выявления потенциальных проблем до их возникновения.

Миниатюризация и повышение мобильности: создание более компактных и легких роботов, способных проникать в труднодоступные участки трубопроводов, улучшение маневренности для прохождения сложных участков, таких как изгибы и сужения.

Расширение функциональности: внедрение новых типов сенсоров и датчиков для более точного и комплексного анализа состояния труб, совмещение нескольких методов диагностики в одном устройстве для повышения точности и уменьшения времени на проверку.

Беспроводные технологии: увеличение дальности и стабильности беспроводной связи для управления роботами и передачи данных в режиме реального времени, развитие автономных систем, работающих без кабеля, что упростит эксплуатацию в удалённых и труднодоступных местах.

Повышение энергоэффективности: оптимизация энергопотребления для увеличения продолжительности работы роботов без перезарядки, использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели или небольшие генераторы.

Совместимость с облачными технологиями: хранение и обработка данных в облаке для облегчения доступа и анализа информации в любое время и из любого места, интеграция с системами управления производственными процессами для автоматического планирования ремонтов и замены элементов трубопроводов.

Улучшение взаимодействия с оператором: разработка удобных интерфейсов и систем виртуальной реальности для дистанционного управления и наблюдения за процессом диагностики, внедрение голосовых команд и голографической визуализации для повышения удобства и эффективности работы операторов.

Развитие аддитивных технологий: изготовление деталей роботов с использованием 3D-печати для ускорения производства и снижения стоимости.

Гибридные системы: комбинация наземных и подводных роботов для комплексной диагностики трубопроводов, проходящих через водоёмы или подземные коммуникации.

Бионические разработки: использование принципов биомеханики для создания роботов, имитирующих движения живых организмов, что позволит улучшить проходимость и устойчивость к внешним воздействиям.

Экологические аспекты: улучшение экологической устойчивости роботов путём использования экологически чистых материалов и сокращения выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации.

Заключение

Анализ использования внутритрубных роботов-дефектоскопов демонстрирует значительный прогресс в области автоматизации и повышения эффективности диагностики промышленных трубопроводов. Современные технологии позволяют значительно сократить время и затраты на проведение обследований, обеспечивая при этом высокую точность и надежность результатов. Разнообразие методов и подходов, используемых в таких системах, делает возможным применение роботов в широком спектре условий эксплуатации, начиная от наземных коммуникаций и заканчивая подводными трубопроводами.

Таким образом, развитие технологий внутритрубной диагностики является важным направлением в обеспечении устойчивого функционирования промышленности и инфраструктуры.

Список литературы

1. Корневская, А.В. Роботизация процессов в нефтегазовой отрасли Российской Федерации / А.В. Корневская, Х.А. Пшиншев // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2020. – Т. 6(16), Вып. 4. – С. 281-289.
2. Сайфутдинов, Р.Н. Обзор современных методов диагностики трубопроводов / Р.Н. Сайфутдинов, Д.С. Бальзамов // Новости теплоснабжения. – 2017. – №9 (205). –URL: <http://www.rosteplo.ru/nt/205> (дата обращения 19.03.2025).
3. Ворочаева, Л. Ю. Классификационные признаки роботов, перемещающихся по трубам / Л. Ю. Ворочаева, С. И. Савин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – №3. – С. 89-96.
4. Мальчиков, А. В. Разработка мобильной гусеничной платформы для внутритрубной диагностики / А. В. Мальчиков, А. П. Бурцев // Сб. науч. статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху». В 3-х томах. – Курск, 2022. –Т. 3. – С. 280-284.

5. Чибриков, И.О. Анализ методов внутритрубной диагностики магистральных нефтепроводов / И.О. Чибриков, В.К. Тянь // Просвещение и познание. – 2022. – № 8 (15). – С. 3-11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-vnutritrubnoy-dagnostiki-magistralnyh-nefteprovodov> (дата обращения 19.03.2025).

6. Арискин, И. В. Анализ робототехнических устройств, предназначенных для внутритрубной диагностики / И. В. Арискин // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – №9 (38). – С. 523.

7. Воевода, Н. Н. Формирование концепции алгоритма механических схем перемещения как метода адаптации шагающего робота к изменениям внешних и внутренних условий / Н. Н. Воевода // Политехнический молодежный журнал. – 2018. – №12. – С. 422. – DOI: 10.18698/2541-8009-2018-12-422.

8. Савин, С.И. Методы управления движением шагающих внутритрубных роботов / С. И. Савин, Л. Ю. Ворочаева // CloudofScience. – 2018. – Т. 5, №1. – С. 163-195.

9. Поезжаева, Е. В. Модернизация роботизированной внутритрубной диагностической системы / Е. В. Поезжаева, В. А. Горетова // Молодой ученый. – 2019. – №1(239). – С. 43-46. – URL: <https://moluch.ru/archive/239/55291/> (дата обращения: 19.03.2025).

References

1. Korenevskaya, A.V. Robotization of processes in the oil and gas industry of the Russian Federation / A.V. Korenevskaya, H.A. Pshinshev // Geopolitics and eco-geodynamics of regions. – 2020. – Vol. 6(16), Is. 4. – Pp. 281-289.

2. Sayfutdinov, R.N. Review of modern diagnostic methods of pipelines / P.N. Sayfutdinov, D.S. Balzamorov // Innovations in heat supply. – 2017. – №9 (205). – URL: <http://www.rosteplo.ru/nt/205> (accessed 03/19/2025).

3. Vorochaeva, L. Y. Classification features of robots moving through pipes / L. Y. Vorochaeva, S. I. Savin // Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov. – 2018. – No. 3. – Pp. 89-96.

4. Mal'chikov, A.V. Development of a mobile tracked platform for in-tube diagnostics / A.V. Mal'chikov, A. P. Burtsev // Collection of scientific articles of the 6th All-Russian Scientific Conference of promising developments of young scientists «Youth and science: a step to success». In 3 volumes. – Kursk, 2022. – Vol. 3. – Pp. 280-284.

5. Chibrikov, I.O. Analysis of methods of in-tube diagnostics of magnetic oil pipelines / I.O. Chibrikov, V.K. Tyan // *Prosveshcheniye i poznaniye*. – 2022. – No. 8 (15). – Pp. 3-11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-vnutritrubnoy-dagnostiki-magistralnyh-nefteprovodov> (accessed 03/19/2025).
6. Ariskin, I. V. Analysis of robotic devices designed for in-tube diagnostics / I. V. Ariskin // *Polytechnic Youth The magazine*. – 2019. – №9 (38). – P. 523.
7. Voevoda, N. N. Formation of the concept of an algorithm for mechanical movement schemes as a method of adapting a walking robot to changes in external and internal conditions / N. N. Voevoda // *Polytechnic Youth Journal*. – 2018. – No. 12. – P. 422. – DOI: 10.18698/2541-8009-2018-12-422.
8. Savin, S.I. Methods of motion control of walking intra-tube robots / S. I. Savin, L. Yu. Vorochaeva // *Cloud of Science*. – 2018. – Vol. 5, No. 1. – Pp. 163-195.
9. Poezhaeva, E. V. Modernization of the robotic in-tube diagnostic system / E. V. Poezhaeva, V. A. Goretova // *Young scientist*. – 2019. – №1(239). – Pp. 43-46. – URL: <https://moluch.ru/archive/239/55291/> (date of access: 03/19/2025).