

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ**

*В работе рассматривается проблема внутритрубной диагностики трубопроводов сложной геометрии среднего диаметра трубопроводов 200-500 мм с использованием роботизированных устройств. Целью работы является разработка нового технического устройства для диагностики трубопроводов сложной геометрии в заданном диапазоне диаметров. Основные задачи исследования: разработка новой конструкции внутритрубного устройства, создание системы управления. Приведён анализ основных устройств для контроля внутритрубной поверхности, представлена новая конструкция робототехнического устройства, разработана система управления этой конструкцией для движения по участкам сложной геометрии с использованием множества подсистем управления.*

*Аварии на трубопроводах, внутритрубная диагностика, внутритрубные работы, управление робототехническими устройствами, система управления.*

Dmitry Nikolaevich Kuchev

## **DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR AN IN-LINE ROBOTIC COMPLEX**

*The paper considers the problem of in-line diagnostics of pipelines of complex geometry with an average diameter of 200-500 mm pipelines using robotic devices. The aim of the work is to develop a new technical device for diagnosing pipelines of complex geometry in a given diameter range. The main objectives of the research are the development of a new design of an in-line device, the creation of a control system. The analysis of the main devices for monitoring the inner tube surface is given, a new design of a robotic device is presented, a control system for this structure for movement along sections of complex geometry using a variety of control subsystems is developed.*

*Pipeline accidents, in-line diagnostics, in-line work, control of robotic devices, control system.*

Трубопроводный транспорт играет важную роль в энергетическом секторе Российской Федерации. Так своевременная диагностика и плановый ремонт позволяют содержать трубопроводы в требуемом техническом состоянии без финансово-экономических потерь и нанесения вреда

окружающей среде. В настоящий момент на территории РФ находится около 217 тыс. км. трубопроводного транспорта, из которых 47 тыс. км. составляют трубопроводы по транспортировке нефтяных продуктов, 150 тыс. км. составляют трубопроводы по транспортировке газообразных продуктов. [1]. При этом, до 80% отказов приходится на внутритрубную и наружную коррозию [2]. Так, например, 13 февраля 2023 г. произошёл разрыв резервной нитки магистрального газопровода в Ярославской области.

На данный момент использование ручных методов неразрушающего контроля, при внешнем обследовании трубопроводов, не является достаточно информативным способом контроля трубопроводов. При этом, данные методы имеют низкую степень автоматизации процесса и большую трудоёмкость. Использование внутритрубных робототехнических средств позволяет увеличить количество информации о техническом состоянии трубопровода, увеличить достоверность получаемых данных, что в свою очередь позволяет контролировать техническое состояние объекта контроля и прогнозировать остаточный срок службы. В современных робототехнических внутритрубных устройствах используются, в основном, следующие методы контроля: ультразвуковой, магнитный, электромагнитно-акустический, визуально-измерительный контроль.

Робототехнические средства для внутритрубной диагностики подразделяются на устройства без собственных двигателей и с собственными двигателями на борту [3]. Так, внутритрубный снаряд-дефектоскоп, перемещающийся под действием избыточного давления, относится к робототехническому устройству без собственных двигателей (рис. 1). Однако, подобные устройства имеют ряд недостатков, к которым можно отнести: возможная потеря диагностических данных на участках сложной геометрии, застопоривание на участках сложной геометрии, необходимость наличия пуско-приёмочной камеры, отсутствие контроля в режиме реального времени, высокая скорость контроля не позволяет обнаружить дефекты небольших размеров.



*Рис. 1. Внутритрубный снаряд-дефектоскоп*

Внутритрубные робототехнические устройства с собственными двигателями, наиболее популярные в настоящее время: робототехническое устройство на гусеничной платформе компании АО «Диаконт» (рис. 2, а) и

робототехническое устройство на колёсной платформе АО «ИнтроСкан Технолоджи» (рис. 2, б)). Робототехническое устройство на гусеничной платформе позволяет осуществлять контроль трубопроводов с условным проходным диаметром 700-1400 мм [4], обладает визуально-измерительным, ультразвуковым или магнитным контролем. Перемещение по вертикальным участкам осуществляется в диапазоне диаметров 700-1000 мм, наличие кабель-троса создаёт сложности при перемещении в отводах, что приводит к потере связи с устройством. Глубина исследования до 240 м, скорость до 3 м/мин. Робототехническое устройство на колёсной платформе перемещается в диапазоне условных проходных диаметров 300-1400 мм [5], осуществляет как визуально-измерительный контроль, так и ультразвуковую диагностику с сухим точечным контактом. Глубина исследования трубопровода до 1500 м, скорость 0,3 м/мин. Однако робототехническое устройство способно осуществлять контроль только внутри трубопроводов из ферромагнитного материала, ввиду наличия мотор-колёс с эффектом намагничивания.

Представленное описание существующих робототехнических устройств позволяет сделать вывод о необходимости разработки внутритрубного робота для диагностики, перемещающегося в широком диапазоне условных проходных диаметров, с возможностью движения по участкам сложной геометрии в диапазоне диаметров 200-500 мм, к которым относятся отводы (участки криволинейной формы), наклонно-вертикальные участки, участки с изменением поперечного сечения. В результате чего был разработан внутритрубный робототехнический комплекс (ВРК) опорно-прижимного типа, имеющий форму корпуса в виде конусно-цилиндрической части, напоминающего геометрию криволинейного участка. Устройство имеет шесть опорных ног, расположенных под углом  $60^{\circ}$  относительно друг друга, включая три приводных и три неприводных опорных ноги для движения в требуемом диапазоне диаметров.

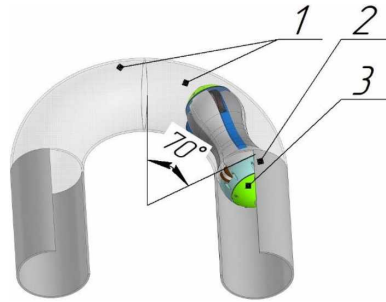


Рис. 2. Движение ВРК по криволинейному участку. 1 – два последовательно соединённых отвода; 2 – прямолинейный участок; 3 – ВРК

Разработанная конструкция внутритрубного устройства представляет нетривиальную задачу по созданию системы управления. Ввиду движения устройства в криволинейном участке типа отвод, использование кабель-троса с использованием оптоволокна не является допустимым при возникновении высокой вероятности излома данного кабеля о внутритрубную поверхность, также существующие системы управления, представленные в [6-10], не являются эффективными для управления движением новой конструкцией по участкам сложной геометрии. Вследствие чего была разработана система управления ВРК, которая включает в себя подсистему радиосвязи для передачи и приёма данных в системе управления, структура представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура системы управления ВРК

Разработанная система управления представляет возможность дистанционного управления ВРК с использованием станции оператора, с которой отправляются и принимаются данные, при помощи подсистемы радиосвязи, которая связана с управляющим компьютером и контроллером устройства, что расположены на борту. Последние включают в себя подсистему регулировки диаметра ВРК, которая получает данные с датчика магнитного поля сервопривода, отвечающего за регулировку опорных ног, а также тензодатчиков и гироскопа, что вычисляют необходимую силу поджатия колёсных движителей к внутритрубной поверхности, управляющий сигнал отправляет на сервопривод вращения винта. Подсистема управления тяговой силой движения ВРК получают информацию с использованием датчиков магнитного поля колёсных движителей о скорости их перемещения и ориентации устройства от гироскопа, управляющий сигнал отправляется на электромоторы постоянного тока. Подсистема управления скоростью движения ВРК принимает показания с датчиков магнитного поля колёсных движителей, что позволяет осуществлять регулировку скорости поступательного движения конструкции, а также осуществлять поступательно-вращательное движение. Подсистема энергетического обеспечения регулирует подачу питания в зависимости от показаний датчика тока, напряжения аккумуляторной батареи. Подсистема диагностики трубопровода принимает данные с толщиномера и видекамеры.

**Заключение.** В работе рассмотрена проблема перемещения внутритрубных устройств и контроля трубопроводов сложной геометрии, в диапазоне диаметров 200-500 мм. Предложена новая конструкция внутритрубного робота, представлено её движением в криволинейном участке с углом поворота  $180^{\circ}$ . Разработана новая система управления конструкцией ВРК, которая включает в себя множество подсистем управления, что позволяет осуществлять дистанционное управление робототехническим устройством, а также управлять силой поджатия колёсных движителей, тяговой силой движения, способом движения – поступательный/поступательно-вращательный. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании автономных внутритрубных робототехнических устройств опорно-пржимного типа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии на магистральных газопроводах в России в 2022-2023 г. [Электронный ресурс] // РИА Новости. 2023 13 февраля. URL:

- <https://ria.ru/20230213/avarii-1851825840.html> (дата обращения: 23.09.2023).
2. *Поезжаева Е. В.* Робот - змея для технической диагностики и ремонта трубопроводов / Е. В. Поезжаева, В. С. Юшков // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2011. – № 14. – С. 93-98.
  3. *Поезжаева Е. В.* К вопросу о разработке модели механической конструкции робота промышленного автономного робототехнического комплекса для диагностики трубопроводов / Е. В. Поезжаева, Д. Н. Кучев, Е. Ю. Тонков // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 4. – С. 53-59.
  4. *Холоденко В. Б.* Внутритрубные диагностические роботизированные мобильные комплексы для труб различного диаметра / В. Б. Холоденко, А. П. Пахомов // Инновации. Наука. Образование. – 2022. – № 52. – С. 630-645
  5. *Ворончихин С. Ю.* Оценка технического состояния технологических трубопроводов компрессорных станций ПАО "Газпром" с применением роботизированных сканеров / С. Ю. Ворончихин, А. А. Самокрутов, Ю. А. Седелев // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2016. – № 3(27). – С. 120-130.
  6. *Голубкин И. А.* Система управления мобильным колесным роботом для внутритрубной инспекции газопроводов / И. А. Голубкин, И. А. Щербатов // Информатика и системы управления. – 2014. – № 4(42). – С. 129-140.
  7. *Brown, Liam, Joaquin Carrasco, and Simon Watson.* 2021. "Autonomous Elbow Controller for Differential Drive In-Pipe Robots" *Robotics* 10, no. 1: 28.
  8. *Z. Yu, Z. Xing, Z. Zirui, L. Qiang and F. Gao,* "Design and Implementation of Sewage Pipeline Cleaning Robot Based on Beidou Positioning," *2022 19th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, Chengdu, China, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCWAMTIP56608.2022.10016503.
  9. *B. Zhang, M. Abdulaziz, K. Mikoshi and H. Lim,* "Development of an In-pipe Mobile Robot for Inspecting Clefts of Pipes," *2019 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, Bangkok, Thailand, 2019, pp. 204-208, doi: 10.1109/CIS-RAM47153.2019.9095803.
  10. *Кадхим Дхиргаам.* Управление перемещением колесного робота в трубопроводах с переменным проходным сечением : специальность 05.02.05 "Роботы, мехатроника и робототехнические системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кадхим Дхиргаам. – Владимир, 2011. – 157 с.

**Кучев Дмитрий Николаевич**, аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, д.9, 614000. E-mail: [kuchevdmitri@yandex.ru](mailto:kuchevdmitri@yandex.ru).

**Kuchev Dmitry Nikolaevich**, postgraduate student of the Department of Information Technologies and Automated Systems, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Professor Pozdeev str., 9, 614000, Russia. E-mail: [kuchevdmitri@yandex.ru](mailto:kuchevdmitri@yandex.ru).