

УДК 621.8 – 1/-9

А.В. Каляшина, О.В. Кретинин, А. Ю. Сизов, А. А. Туманов,
Л.О. Федосова

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕКТОВ
МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена инновационная импортозамещающая технология предварительного диагностирования труб малого диаметра (до 250 мм), применяемых в газо- и продуктопроводах. Разработана конструкция интеллектуального транспортного средства (ИТС), реализующего данную технологию. Представлен более технологичный по сравнению с существующими аналогами принцип управляемого перемещения ИТС внутри ПЗО. Показана возможность быстрого проектирования ИТС с помощью системы автоматизированной оптимизации (САО).

Ключевые слова: робототехнический комплекс, диагностирование протяженных замкнутых объектов (ПЗО), интеллектуальное транспортное средство (ИТС), параметризация в Autodesk Inventor, оптимизация конструкции.

За последние 10-15 лет существенно возросла потребность населения в природном газе. В связи с этим сети подземных газопроводов как внутри субъектов, так и межрегиональные, постоянно расширяются и усложняются. Кроме того, внешнеэкономические цели государства в области экспорта природных ресурсов посредством трубопроводного транспорта приводят к строительству новых и возрастанию нагрузки на уже существующие международные магистральные газо- и продуктопроводы.

При этом нельзя забывать, что газопровод является источником повышенной опасности, причем как при эксплуатации, так и при производстве строительных или ремонтных работ. Механическое повреждение газопровода высокого давления может привести к взрыву, к человеческим жертвам, к материальным потерям и прекращению газоснабжения потребителей. Утечка газа или иного продукта из подземного трубопровода наносит ущерб окружающей среде и также может стать причиной прекращения газоснабжения. Определить место утечки бывает проблематично – природный газ не имеет цвета и запаха [1].

Решение указанных проблем неизбежно приводит к усложнению технологических требований к эксплуатации и ремонту подземных трубопроводов. В то же время растут требования к качеству и ответственности за проведение ремонтных работ на трубопроводах. Следовательно, существует актуальная задача предупреждения аварийных ситуаций на газо- и продуктопроводах путем проведения плановых диагностических работ. При этом необходимо выбрать такую технологию, которая позволит проводить работы, не выполняя значительных раскопок трубопровода – так называемую бестраншейную технологию, и обеспечит запрашиваемый уровень качества работ [2].

Наиболее ярким и эффективным примером такой технологии в диагностике протяженных замкнутых объектов (ПЗО) является видеодиагностика поверхности ПЗО изнутри. Эта технология подразумевает под собой использование телеинспекционных (видеодиагностических) роботов. Данные роботы чаще всего представляют собой колесное или гусеничное шасси, несущее на себе оборудование для предварительной диагностики ПЗО: камера, осуществляющая видеозахват внутренней поверхности трубы; прибор освещения (фонарь); аккумуляторы; привод движения робота; оборудование для обеспечения управления и связи

с роботом. Управление роботом осуществляется дистанционно по каналу связи – проводному или радиоканалу в зависимости от производителя.

Данная технология достаточно широко применяется как в России, так и за границей. К преимуществам применения телеинспекционных роботов можно отнести:

- возможность проведения предварительной диагностики непосредственно изнутри, не прибегая к раскапыванию трубы;
- возможность достаточно точного определения места повреждения или засорения канала трубы;
- сокращение эксплуатационных расходов;
- сокращение сроков выполнения работ.

Основными техническими характеристиками при выборе того или иного робота являются диаметр трубы и протяженность участка диагностирования [3]. Максимальная протяженность участка диагностирования для кабельных роботов ограничивается длиной кабеля до 100 м на малых диаметрах труб (250-500 мм) и 200-400 м на больших диаметрах (свыше 500 мм).

Радиоуправляемые роботы в данном отношении являются более универсальными. Существующие модели могут преодолевать участки протяженностью в 3 км, что позволяет более эффективно использовать их при работах на магистральных трубопроводах, в особенности на участках под водоемами. Однако, к настоящему моменту радиоуправляемые роботы применяются в трубах диаметром до 500 мм [4].

Существуют и другие ограничения в использовании видеодиагностических роботов. Эти ограничения можно объединить в ряд недостатков:

1. Ограниченная протяженность участка диагностирования. Данная проблема успешно решается за счет использования радиоуправляемых роботов. Однако, и здесь есть трудности: все время нахождения робота внутри трубы должно обеспечиваться питание его исполнительных элементов и привода, что предопределяет наличие серьезных требований к аккумуляторам.

2. Ограниченная проходимость. Внутри ПЗО нередко встречаются посторонние объекты (кирпичи, куски грунта и пр.). С уменьшением диаметра ПЗО уменьшается свободное пространство между роботом и стенками трубы и, следовательно, повышается риск столкновения робота с препятствием. В результате этого робот может застрять внутри трубы. Также сюда можно отнести ситуации, когда колеса робота начинают проскальзывать из-за наличия смазки, грязи на стенках трубы или из-за большого угла подъема ПЗО. В этом случае необходимо наличие робота-эвакуатора для извлечения застрявшего робота из трубы.

3. Изгибы ПЗО. Чаще всего для простоты и высокой работоспособности робота выполняется жесткий привод на все четыре колеса шасси. В этом случае маневренность робота сводится к минимуму, и при изгибах трубы на участках большой протяженности робот переворачивается. В случае полного переворота робота возможно повреждение его элементов, а также снова возникает необходимость извлечения робота из ПЗО при помощи эвакуатора.

4. Обрыв страховочного троса. Одной из задач робота является протаскивание страховочного троса с одного конца участка на другой. Нередки случаи обрыва троса в результате перетирания о стенки ПЗО, при вытягивании перевернувшегося робота и пр. Здесь является одна из наиболее сложных задач – зацепить оборвавшийся трос и вытащить его на поверхность. Необходима разработка устройства для зацепления троса и блока управления к нему. Кроме того, решение данной задачи требует значительных временных затрат.

5. Отсутствие решений для труб диаметром <200 мм. Если для ПЗО диаметром 200-250 мм еще можно применить колесного или гусеничного робота, то на диаметрах ниже 200 мм задачи предварительного диагностирования решить с помощью таких роботов практически невозможно, так как в этом случае накладываются существенные ограничения на габариты робота. В этой ситуации размещение аккумуляторов и двигателей достаточной мощности крайне затруднительно, а использование маломощных элементов питания и при-

водов ограничивает технологические возможности робота в плане максимальной протяженности участка диагностирования и времени работы машины. Данная проблема является наиболее острой и трудноразрешимой.

Принимая во внимание все перечисленные проблемы, встает необходимость разработки новой, более совершенной технологии для выполнения задач диагностирования. Примером подобной технологии для ПЗО малых диаметров может служить инновационное импортозамещающее решение, разработанное в НГТУ им. Р.Е. Алексеева – интеллектуальное транспортное средство (робот), в качестве привода продольного перемещения использующее разность давления с разных концов трубы.

Данный робот представляет собой модульную структуру, состоящую минимально из двух модулей (общее количество модулей определяется поставленной задачей), соединенных между собой упругим элементом. Упругий элемент служит для обеспечения подвижного соединения модулей. На ведущем модуле устанавливается камера для осуществления видеосъемки внутренней поверхности трубы. Между модулями располагаются элементы питания камеры.

Каждый модуль представляет собой многослойную комбинированную структуру, состоящую из лепестковых элементов и упругой мембраны круглого сечения между ними. Лепестковый элемент выполнен в виде диска из упругого материала (например, резины), окантовка которого имеет косые надрезы, образующие лепестки. В середине каждый лепестковый элемент имеет отверстие, назначение которого будет описано далее. Диаметр лепесткового элемента совпадает (или практически совпадает) с диаметром трубы. Предназначен он для восприятия разницы давлений и преобразования ее в движение робота. Мембрана располагается соосно с лепестковыми элементами и играет роль обратного клапана, необходимого для обеспечения реверса робота.

ИТС концептуально представляет собой снаряд в виде поршня, движущийся при наличии достаточной разности давлений с разных сторон робота. Разница давлений нагнетается при помощи воздухоудвки или компрессора, расположенных с концов трубы (один конец). При повышении давления с одной стороны мембрана перемещается в сторону переднего лепесткового элемента и закрывает клапан в направлении движения вперед. Косые разрезы лепестков обеспечивают их поджатие друг к другу при повышении давления. Таким образом, образуется плотная структура, с разных сторон которой образуется разность давлений, в результате чего робот начинает движение.

В случае если на пути движения робота окажется инородный предмет, лепестковая структура поршня позволит обогнуть его, либо, в случае малой массы, забрать его с собой. При прохождении модулем препятствия образуется разуплотнение структуры в месте сгиба лепестков. Этим объясняется минимальное количество модулей (два) – при разуплотнении одного модуля включается другой, благодаря чему робот не прекращает движения.

Инновационный способ движения позволяет создавать перемещение ИТС без установки на нем электропривода. Это обеспечивает снижение массы робота, уменьшение его габаритов и отсутствие необходимости установки мощных аккумуляторов для питания двигателей – необходимо лишь обеспечить питание видеокамеры, энергопотребление которой существенно ниже. Упругий элемент, соединяющий модули, обеспечит гибкость для улучшения проходимости участков изгиба ПЗО.

В настоящий момент в НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработана концептуальная модель данного ИТС, подготовлен лабораторный стенд и проводятся испытания. Разрабатывается опытный образец для проведения натурных испытаний, а также создается параметрическая трехмерная модель ИТС в среде Autodesk Inventor с применением разработанной системы автоматизированной оптимизации (CAO) узлов конструкций по технико-экономическим параметрам для быстрого проектирования конкретного робота под заданный типоразмер ПЗО [5].

Библиографический список

1. СНиП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы.
2. Пат. на полезную модель №:2068148. Прибор для инспекции трубопровода.
3. **Харионовский, В.В.** Исследование устойчивости газопроводов, имеющих размытые участки / В.В. Харионовский, Ю.А. Окопный, В.П. Радин // Проблемы надежности газопроводных конструкций. – М.: ВНИИГАЗ, 1991. С. 94–99.
4. Патент на полезную модель №:133896 Робототехническая система инспекции трубопровода.
5. **Роджерс, Д.** Математические основы машинной графики / Д.Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Машиностроение, 1980.

*Дата поступления
в редакции 11.12.2014*

A.V. Kalyashina, O. V. Kretinin, A. Yu. Sizov, A. A. Tumanov, L. O. Fedosova

**DEVELOPMENT OF A ROBOTIC SYSTEM CONSTRUCTION FOR EXTENDED
CLOSED SMALL DIAMETER OBJECTS DIAGNOSTICS IN AUTODESK INVENTOR
ENVIRONMENT USING AUTOMATED OPTIMIZATION SYSTEM**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

An innovative import-substituting technology for preliminary diagnostics of small-diameter pipes (up to 250 mm), used in gas and product pipelines, is studied. A construction of an intelligent transport facility using this technology is developed. An advanced (as compared to the existing similar ones) principle of controlled intelligent transport facility movement inside extended closed objects is presented. A possibility of agile design of the intelligent transport facility by means of automated optimization system (AOS) is shown.

Key words: robotic system, diagnostics of extended closed objects, intelligent transport facility, parameterization in Autodesk Inventor, constructive optimization.