

УДК 004.896.001.63

В. М. Зуев, О. А. Бутов, С. И. Уланов, А. А. Никитина
Государственное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
83048, г. Донецк, ул. Артема, 118-б

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТА ДЛЯ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

V. M. Zuyev, O. A. Butov, S. I. Ulanov, A. A. Nikitina
Public institution «Institute of Problems of Artificial intelligence», Donetsk
83048, Donetsk, str. Artema, 118-b

SIMULATION OF A ROBOT FOR INSPECTION ENGINEERING COMMUNICATIONS

В. М. Зуєв, О. А. Бутов, С. І. Уланов, А. А. Нікітіна
Державна установа «Інститут проблем штучного інтелекту», м. Донецьк
83048, м. Донецьк, вул. Артема, 118-б

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТА ДЛЯ ІНСПЕКТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ

В статье представлена модель робота для инспектирования труб городских коммуникационных сетей с презентацией конструкции всех механических элементов и последовательностью их сборки. Приведен энергетический расчет данной модели. Также рассмотрена 3D-модель робота.
Ключевые слова: самоходная тележка, манипуляторы, сенсорная подсистема.

The article presents a model of a robot for inspecting pipes of urban communication networks with a presentation of the design of all mechanical elements and the sequence of their assembly. The energy calculation of this model is presented. A 3D model of the robot will also be considered.
Key words: self-propelled trolley, manipulators, sensor subsystem.

У статті представлена модель робота для інспектування труб міських комунікаційних мереж із презентацією конструкції всіх механічних елементів та послідовністю їх складання. Наведено енергетичний розрахунок цієї моделі. Також розглянуто 3D-модель робота.
Ключові слова: самохідний візок, маніпулятори, сенсорна підсистема.

Введение

Инспектирование инженерных трубопроводных сетей с применением роботизированных устройств различных конструкций является актуальной научной и практической задачей.

Применение роботизированного устройства для проведения видеоинспекции трубопроводов позволило бы выявить критические места в этой системе и проводить там ремонтные работы в первую очередь. Сейчас в мире проводятся разработки для аналогичных целей.

Целью работы является разработка прототипа роботизированного устройства для проведения видеоинспекции трубопроводов городских сетей. В ходе работ планируется систематизировать разработки в этой области производителей электронных компонентов и предложить свою опережающую архитектуру. Эта архитектура должна быть привязана к имеющемуся технологическому уровню предприятий, доступных для размещения заказа на их изготовление.

Постановка задачи заключается в систематизации возможных производителей робота с целью определения будущего производителя по критерию цена-качество, а также изучении рынка и конкурентоспособности, выявлении наиболее эффективных способов управления роботом, разработке структуры базовой компонентной платформы, расчете и моделировании функционирования систем управления роботом, функционирующих на основе глубокого обучения нейросети, проведении средствами моделирования сравнительных тестов в сравнении с уже разработанными.

Актуальность и важность ожидаемых результатов. Предлагаемая работа основана на результатах фундаментальных исследований, проведенных в ГУ «ИПИИ». Установленные в результате данных работ закономерности будут использованы для разработки аппаратной архитектуры вычислительной среды, ориентированной на использование в разрабатываемых роботах. Это позволит создавать роботизированную систему для широкого класса аналогичных задач, причем с элементами использования искусственного интеллекта при инспекции указанных коммуникаций.

В данной статье представлена модель робота, которая может быть применима во всем спектре городских инженерных коммуникационных сетей. По характеру работы разрабатываемое автоматическое устройство может обслуживать магистральные, распределительные инженерные коммуникации. Произведен анализ работы модели согласно режимам эксплуатации робота. При этом учитывалась скорость движения робота, которая зависит от способа прокладки и соединения труб, способа соединения труб: неразъемные, разъемные и другие сопутствующие условия [1-5].

Для данного вида исследования в основном используют роботизированные мобильные комплексы. В [6], [7] приведены наиболее часто применяемые способы перемещения таких роботов внутри трубы. Прототипами описанного ниже робота могут служить разработки, представленные в патентах [8-13].

Робот для диагностики трубопроводов в [9] состоит из: самоходной платформы, двигателей с опорными колесами, манипуляторов с двумя степенями свободы, видеокамеры, ультразвуковых и инфракрасных дальномеров, импульсного преобразователя напряжения, источника питания, материнской платы, стоек с шарнирными механизмами, соединенными пружинами попарно между собой, и крышки, на которой расположены маленькие колеса-прижимы для прижатия робота к поверхности трубы. Работу данной модели робота обеспечивают двигатели с опорными колесами. Передача сигналов на манипулятор осуществляется путем передачи информации с дальномеров и видеокамеры на материнскую плату.

Подобный робот для диагностики трубопроводов описан в [10]. Предложенный технический результат заключается в повышении маневренности, точности установки и поддержания пространственного положения средств диагностики относительно стенок трубопровода. Решение поставленной задачи достигается конструктивным решением, в первом несущем основании устройства, содержащем расположенные под углом 120° три опорные ноги с колесами второго несущего основания, содержащего аналогичные опорные ноги. При этом первое и второе несущие основания выполнены соединительными фланцами на противоположных сторонах полноповоротного диагностического модуля, предназначенного для установки контрольно-инструментальных средств, а опорные ноги и колеса выполнены с независимыми приводами, что дает вариабельность движения в соединениях.

Кроме того, контрольно-инструментальные средства для установки на диагностическом модуле предлагаемого робота выполнены с возможностью использования их в качестве сменных модулей.

Робот для диагностики трубопроводов также описан в [11]. Данная работа представляет к рассмотрению модель робота, у которой опорные колеса выполнены в виде вращающихся полусфер, что придает роботу форму эллипса и позволяет ему двигаться по трубопроводам без переворотов. Таким образом, робот позволяет осуществлять технический контроль труб любой конструкции и сложных изгибных участков, например, наклонных трубопроводов. Наличие резиновых шипов на наружной поверхности полусфер вращения позволяет передвигаться роботу по труднопроходимым участкам. Расположенный на цилиндрическом основании ИК датчик дает возможность замерять диаметр внутри трубы с целью диагностики и, соответственно, своевременного ремонта поврежденного участка трубы либо его замены.

Предложенный нами робот может быть использован не только для проведения диагностического телевизионного осмотра внутреннего состояния труб действующих стоковых коллекторов и коллекторов, но и может быть применен при проведении поисковых работ в шахтах, пещерах и рудниках, частично заполненных водой.

Установка [12] также может быть использована для аналогичных вышеуказанных целей. Однако существенным недостатком является невозможность устройства работать в действующих стоковых коллекторах, т.е. в трубах, заполненных на 50-70 % движущимся потоком жидкости, содержащей большое количество твердых и растворенных частиц и предметов.

Предлагаемый робот может использовать различные виды диагностических устройств. В данной работе выбран робот с многоопорным кинематическим механизмом. Передняя и задняя конструкция робота имеет трехопорный кинематический механизм [13]. Он обладает необходимыми функциональными возможностями для прохождения всех встречающихся в трубопроводах сложных участков. Описываемый ниже робот дополнен механизмом активной регулировки его диаметра по периметру колесных модулей и силы их прижатия к стенкам трубопровода. Также предлагаемое устройство оснащено муфтами предельного момента для обеспечения максимального контакта всех колес робота с внутренней поверхностью трубопровода при преодолении переходов между участками труб разных диаметров. Предлагаемый робот (рис. 1) имеет следующую конструкцию: три колесных модуля, расположенных под углом 120° относительно друг друга, которые предназначены для регулировки скоростей движения при преодолении поворотов и тройников (подсистема ситуационного уровня); механизм регулировки диаметра робота и силы прижатия колесных модулей к стенкам водопровода (подсистема регуляторного уровня). Робот

должен быть снабжен сенсорной подсистемой, которая включает необходимый набор датчиков и сенсоров для контроля состояния робота и окружающего его пространства. В зависимости от диаметров труб, предназначенных для диагностики, возможна техническая реализация разработки в виде роботов разных размеров, но имеющих однотипную конструкцию. Это обеспечивает унификацию номенклатуры применяемых узлов и деталей; математических моделей и программного обеспечения, используемого для управления движением роботов внутри труб; технологий сервисного обслуживания роботов и пр. Как следствие, снижаются стоимость эксплуатации совокупностями описываемых роботов (включая возможные модификации программного обеспечения, сервисные операции, стоимости обучения персонала и пр.); уменьшаются риски неблагоприятных событий при эксплуатации роботов. Кроме того, использование однотипных конструкций роботов дает возможность унифицировать и номенклатуру навесных устройств, используемых совместно с ними для проведения диагностических работ. Таким образом, разработка и использование линейки однотипных роботов обеспечивает повышение экономической эффективности их применения [14-17].

В основе управления предложенного в данной разработке механизма может быть использована модель управления движением из [13] или управление, основанное на нейросетевом исполнении [8].

Требования к роботу

Область применения. Робот предназначен для работы в основном в городских сетях для подвода воды к объектам хозяйства, где применяются стальные или пластиковые трубы среднего диаметра с условным проходом $D_y = 200, 225, 250$ мм.

Условия эксплуатации. Робот должен соответствовать климатическому исполнению УЗ по ГОСТ15150 – 69.

Функции робота. При проведении инспекции, робот должен вести видеонаблюдение и одометрию данного процесса. Его скорость не может быть высокой. К тому же устройство должно преодолевать сварные швы. Оптимальной будет скорость движения до 5 м/мин и дорожный просвет 2 см.

Экономические показатели. Важным условием к устройству является его цена. Поэтому применяемые узлы и комплектующие должны иметь широкое распространение, иметь низкую стоимость при сохранении своих функций. В этом случае себестоимость изделия будет минимальной.

Конструкция

Для движения внутри полого цилиндра (трубы) оптимальным является контакт в трех точках по окружности и возможностью создания их постоянного контакта.

Механизм типа «краб» с применением шагового двигателя, имеющего «удерживающий» момент, наилучшим образом подходит этим целям. Ниже на рис. 1 приведена конструкция такого механизма.

В работе таких механизмов будет два, расположенных зеркально. Масса m_k спроектированного механизма (рис. 1) с применением алюминиевого сплава (Д16Т) равна 1,8 кг. Общая масса m_p устройства, где учтены массы модулей питания, управления и видеонаблюдения, равна около $m_p = 5,5$ кг. Масса m_z страховочного троса равна около $m_z = 0,5$ кг. Общая суммарная масса модели робота составляет

$$m = m_p + m_z = 6 \text{ кг.}$$

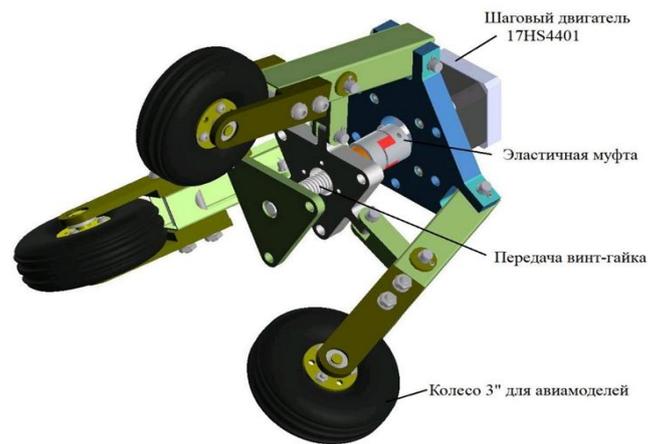


Рисунок 1 – Механизм типа «краб»

Основные элементы механизма таковы: шаговый двигатель, гибкая муфта, ходовой винт с гайкой для преобразования вращательного движения в поступательное, толкатели и рычаги, колеса. Они показаны на рис. 1.

Последовательность сборки робота такова. К опорному фланцу последовательно крепятся: шаговый двигатель и рычаги колес; к шаговому двигателю через муфту ходовой винт с гайкой; к гайке плита крепления толкателей и замыкается опорой через подшипник опорой ходового винта; между плитой крепления и рычагами устанавливаются толкатели; на рычаги устанавливаются колеса.

Расчет механики привода

Расчет крутящего момента

Рассчитаем крутящий момент T , необходимый для перемещения робота. Учтем следующие исходные данные:

количество колес $N_{\text{колес}}$ равно 6;

$$N_{\text{колес}} = 6,$$

из них 2 ведущих $N_{\text{вед}}$ и 4 опорных колеса $N_{\text{опор}}$.

$$N_{\text{колес}} = N_{\text{вед}} + N_{\text{опор}}.$$

количество моторов $K_{\text{мотор}}$ равно 2.

$$K_{\text{мотор}} = 2$$

предполагаем, что коэффициент трения скольжения μ равен 0,6, а радиус колеса r равен 3,81 см:

$$\mu = 0,6; r = 3,81 \text{ см.}$$

Вес устройства W состоит из веса робота W_p с весом груза W_z .

$$W = W_p + W_z = (m_p + m_z) g, \quad (1)$$

где $g=9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения

Предположим, что робот находится в неподвижном состоянии. Максимальный крутящий момент требуется в начале движения робота, так как ему необходимо преодолеть силу трения. В момент начала движения момент импульса и сила трения

уравновешивают друг друга. Зная силу трения, мы получим уравнение для максимального значения крутящего момента T :

$$\mu Nr - T = 0, \tag{2}$$

где μ – коэффициент трения, N – средний вес, действующий на каждое колесо, r – радиус колеса, T – крутящий момент;

Так как в роботе ведущими являются только $N_{вед}$ колес, то $N = W/ N_{вед}$. Подставляя это N в (2), получаем

$$T = 0,69 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для нашей конструкции механизма выбираем мотор-редуктор с выходным валом, перпендикулярным оси вращения ротора двигателя, необходимыми параметрами и габаритами, номинальным напряжением 12 В постоянного тока, числом оборотов 20 об/мин. Параметры, модель и внешний вид мотор-редуктора указаны в табл. 1 из [18] и на рис. 2.

Таблица 1 – Технические параметры мотор-редуктора

ZGY370-46/32		Технические параметры						
Режим х. хода		При номинальной нагрузке				Пусковой режим		Редукция
Ск-ть об/мин	Ток потр. мА	Ск-ть об/мин	Ток потр.мА	Кр.мом-т кг×см	Мощность Вт	Кр.мом-т кг×см	Ток потр. А	Коэф -т 1:00
2	35	1,5	180	14,0	1,1	56	1	3000
5	35	4	180	14,0	1,1	50	1	970
10	35	8	180	8,0	1,1	32	1	588
15	35	13	180	4,8	1,1	21,3	1	324
20	35	15	180	4,0	1,1	16	1	278
30	35	28	180	2,7	1,1	11	1	160
50	35	34	180	1,6	1,1	6,4	1	135
100	35	68	180	0,8	1,1	3,2	1	50
150	35	128	180	0,5	1,1	2,1	1	37,3
200	35	136	180	0,4	1,1	1,6	1	25

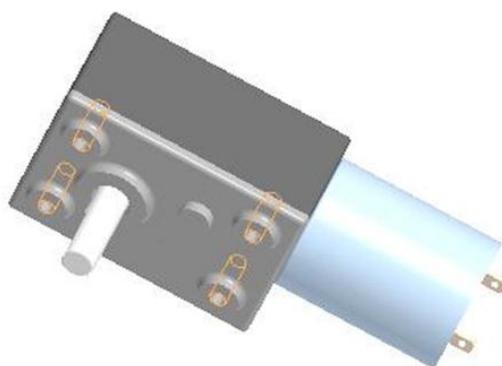


Рисунок 2 – Мотор-редуктор

Для выбранного двигателя крутящий момент 16 кг·см и имеет запас по моменту приблизительно в 2,5 раза.

Расчет силы тяги

Сила тяги – это сила, которую необходимо прикладывать к телу, чтобы оно находилось в состоянии постоянного движения. Условием движения является состояние, при котором сила тяги больше сил сопротивления. В нашем случае она должна превышать силу трения качения. Здесь для упрощения считаем, что сила сопротивления среды близка к нулю, т.к. труба пустая.

$$F_{\text{тяги}} > F_{\text{тр.кач.}} \quad (1)$$

Выбранный нами двигатель имеет мощность $N = 1,1$ Вт и частоту вращения при номинальном режиме работы $\omega = 15$ об/мин, что при диаметре колеса $D = 2r = 76,2$ мм обеспечивает линейную скорость $v = 2\pi r\omega/60 = 0,06$ м/с. Тогда получаем силу тяги:

$$F_{\text{тяги}} = N/v = 18 \text{ Н} \quad (2)$$

В устройстве два двигателя, отсюда общая тяговая сила равна 36 Н или 3,6 кгс. Сила трения качения равна:

$$F_{\text{тр.кач.}} = \mu_{\text{кач.}} (F_{\text{пр}} / r), \quad (3)$$

где $\mu_{\text{кач.}}$ – коэффициент трения качения, а $F_{\text{пр}}$ – прижимающая сила, а r – радиус колеса, в см. Размерность коэффициента трения качения, это длина в см.

Приведем таблицу коэффициентов трения качения для различных пар материалов [18].

Таблица 2 – Коэффициенты трения качения

Наименование	К, см
Деревянное колесо по дереву	0,05 - 0,08
Стальное колесо по стали	0,001 - 0,05
Пневматическая шина по асфальту	0,006 - 0,02
Деревянное колесо по стали	0,03 - 0,04
Шарикоподшипник (подшипник качения)	0,001 - 0,004
Роликоподшипник (тоже качения)	0,0025 - 0,01
Шарик твердой стали по стали	0,0005 - 0,001

Известно, что коэффициент трения качения для колес $\mu_{\text{колес}} = 0,02$, а коэффициент трения качения для подшипника качения $\mu_{\text{шарик}} = 0,004$.

В нашем устройстве $N_{\text{колес}}$ колес и $10 N_{\text{шарик}}$ шарикоподшипников, отсюда

$$\mu_{\text{кач.}} = \mu_{\text{колес}} + N_{\text{шарик}} \mu_{\text{шарик}} = 0,16. \quad (4)$$

Для постоянного контакта колес в трубе необходимо обеспечить прижимающую силу по ускорению g в каждом направлении. Но их три, т.е.:

$$F_{\text{пр}} = 3mg, \quad (5)$$

тогда из (3)

$$F_{\text{тр.кач.}} = 7,5 \text{ Н}. \quad (6)$$

Максимальный угол β подъема для устройства найдем из следующей зависимости

$$F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр.кач.}} - mg \sin \beta = ma. \quad (7)$$

Здесь a – это ускорение робота. Правой стороной выражения можно пренебречь, т.к. ускорение a движения робота достаточно мало. Тогда

$$\beta = \arcsin ((F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр. кач}}) / (mg)) \approx 29^\circ. \quad (8)$$

Энергетический расчет

Таблица 3 – Состав бортового оборудования

Наименование	Кол. шт	Ток потр. А
электрический движитель перемещения	2	1.1
электрический движитель прижима	2	1.7
видеокамера с подсветкой	1	0.5
блок управления движителями	2	0.1
блок радиопередатчика	1	1
датчик контроля прижима	2	0.01
датчик измерения расстояния	1	0.01
блок обработки информации и управления	1	0.1
Итого:		7,13

Все бортовое оборудование будет запитано постоянным током напряжения 12В. Общий ток потребления составит сумму токов всех модулей и узлов $I_{\Sigma}=7.13$ А таким образом общая мощность бортового оборудования составит 86,76 Вт.

Необходимо применить источник питания в 200Вт для работы робота в течение 2 часов (12 штук аккумуляторов 18 650 3,7 в, 2200 мА·ч. или 3 штук GQYM 18 650, 3,7 В, 8800 мА·ч).

Конструкция устройства

Для элементов питания выбираем универсальный бокс для 3-х аккумуляторов типа 18 650 напряжением 12 В:



Рисунок 3 – Универсальный бокс для 3-х аккумуляторов типа 18 650

Для модулей управления устройством применимы корпуса 2pcs/set3.

В результате получим такую конструкцию устройства в исходном положении:

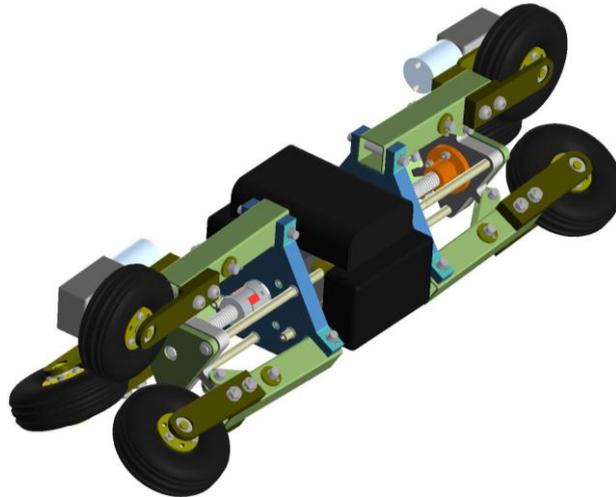


Рисунок 4 – Конструкция модели робота для инспектирования инженерных коммуникаций

Габариты устройства $d_2 = 170$ мм; $L = 476$ мм.

Выводы

Предложенный робот оптимально сконструирован для инспектирования труб водоводов среднего размера, в основном применяющихся для подвода к объектам. Все узлы и детали имеют широкое распространение, невысокую стоимость, достаточную надежность. Все оригинальные детали технологичны, изготавливаются из распространенных материалов и сортаментов, не требуют изготовления на специальном оборудовании.

Список литературы

1. Бутов О. А. Заставь машину думать: как развивается искусственный интеллект у роботов (по материалам «Аналитический обзор мирового рынка робототехники 2019») [Текст] / О. А. Бутов // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ ИПИИ, 2020. – С. 32-36.
2. Зуев В. М. Интеллектуальный подход использования пеленгации со сверхразрешением в самонаводящихся системах [Текст] / В. М. Зуев, М. В. Близно, С. И. Уланов // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2019. - № 4.
3. Зуев В. М. Подготовка данных для обучения нейронной сети управляющей движением механизма [Текст] / Зуев В. М., Бутов О. А., Никитина А. А. Уланов С. И. // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ ИПИИ, 2021. – С. 92-95
4. Зуев М. В. Разработка ускорителя сверточной нейронной сети на базе ПЛИС использующего алгоритм Винограда. [Текст] / В. М. Зуев, А. А. Никитина // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ ИПИИ, 2021. – С. 96-103.
5. Никитина А. А. Исследование машинных методов стереозрения [Текст] / А. А. Никитина, М. В. Близно // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ ИПИИ, 2021. – С. 104-108.

6. Воротников С. А. Система управления миниатюрным внутритрубным роботом / С. А. Воротников, Н. И. Никитин, М. Чеккарелли // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 8. – С. 49–57.
7. Патент РФ №142123, МПК В25J 9/00 RU2707306с1 2019.11.26 / Кучев Д. Н. Робот для технического контроля трубопроводов и сложных изгибных участков труб
8. Патент РФ RU194854U12019.12.25 / Грохольский Дмитрий Леонидович (RU) Роботизированная платформа для внутритрубной диагностики
9. Патент РФ RU2707306C12019.11.26 / Кучев Дмитрий Николаевич (RU) Робот для технического контроля трубопроводов и сложных изгибных участков труб
10. Патент РФ RU2253U11996.06.16 Корковидов Сергей Иоганович
11. Брумштейн Ю. М. Робототехнические системы: вопросы разработки [Текст] / Ю. М. Брумштейн, М. Ильменский, И. Колесников // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2016. – № 4. – С. 49–64.
12. Голубкин И. А. Внутритрубная диагностика газопроводов мобильным роботом. Часть 1. Гибридная математическая модель перемещения робота внутри трубы [Текст] / И. А. Голубкин, И. А. Щербатов // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. – № 2 (34). – 2016 Автоматизация и управление технологическими процессами. – С. 69–81.
13. Зуев В. М. Подготовка обучающих данных для управляющей механизм нейронной сети [Текст] / В. М. Зуев, О. А. Бутов, С. Б. Иванова // Материалы XIV мультikonференции по проблемам управления. – Том 1. – С. 76–79.
14. Иванова С. Б. Роботооператоры и роботокомпьютеры: предпосылки создания и образы [Текст] / С. Б. Иванова, И. С. Сальников, Р. И. Сальников // Проблемы искусственного интеллекта. – 2017. – № 2 (5). – С. 51–69.
15. Зуев В. М. Способ обучения нейронной сети управления роботом [Текст] / В. М. Зуев, О. А. Бутов, С. Б. Иванова, А. А. Никитина, С. И. Уланов // Проблемы искусственного интеллекта. – 2021. – № 2 (21). – С. 22–33.
16. Дорохина Г. В. Требования к информационной технологии цифрового сбора, обработки и анализа данных [Текст] / Г. В. Дорохина // Проблемы искусственного интеллекта. – 2020. – № 4 (19).
17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aliexpress.ru/item/32844017439.html?t=gps-id%3ApcDetailBottomMoreThisSeller%2Cscm-url%3A1007.13339.169870.0%2Cpvid%3Ab4308e9a-ddf7-4da4-9>
18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionOfRolling/>

References

1. Butov, O. A. Zastav' mashinu dumat': kak razvivayetsya iskusstvennyy intellekt u robotov (po materialam «Analiticheskiy obzor mirovogo rynka robototekhniki 2019) [Make the machine think: how artificial intelligence develops in robots (based on the “Analytical review of the global robotics market 2019)]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye: materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2020, S. 32–36.
2. Zuyev V. M., Blizno M. V., Ulanov S. I. Intellektual'nyy podkhod ispol'zovaniya pelengatsii so sverkhrazresheniye v samo-na-vodyashchikhsya sistemakh [Intelligent approach to the use of super-resolution direction finding in homing systems]. *Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»* [International peer-reviewed scientific and theoretical journal "Problems of Artificial Intelligence"], 2019, № 4.
3. Zuyev V. M., Butov O. A., Nikitina A. A. Ulanov S. I. Podgotovka dannykh dlya obucheniya neyronnoy seti upravlyayushchey dvizheniyem mekhanizma [Data preparation for training a neural network controlling the movement of a mechanism]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye: materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2021, S. 92–95
4. Zuyev M. V., Nikitina A. A. Razrabotka uskoritelya svertochnoy neyronnoy seti na baze PLIS ispol'zuyushchego algoritm Vinograda. [Development of an FPGA-based convolutional neural network accelerator using the Winograd algorithm]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye: materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2021, S. 96–103.

5. Nikitina A. A., Blizno M. V. Issledovaniye mashinnykh metodov stereozreniya [Research of machine methods of stereo vision]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye: materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2021, S. 104–108.
6. Vorotnikov S. A., Nikitin N. I., Chekkarelli M. Sistema upravleniya miniatyurnym vnutritrubnym robotom [Control system for a miniature in-line robot] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [News of higher educational institutions. Engineering], 2015, № 8, S. 49–57.
7. Patent RF №142123, MPK B25J 9/00 RU2707306c1 2019.11.26 / Kuchev D. N. *Robot dlya tekhnicheskogo kontrolya truboprovodov i slozhnykh izgibnykh uchastkov trub* [Robot for technical control of pipelines and complex pipe bends]
8. Patent RF RU194854U12019.12.25 / Grokhol'skiy Dmitriy Leonidovich (RU) *Robotizirovannaya platforma dlya vnutritrubnoy diagnostiki* [Robotic platform for in-line diagnostics]
9. Patent RF RU2707306C12019.11.26 / Kuchev Dmitriy Nikolayevich (RU) *Robot dlya tekhnicheskogo kontrolya truboprovodov i slozhnykh izgibnykh uchastkov trub* [Robot for technical control of pipelines and complex pipe bends]
10. Patent RF RU2253U11996.06.16 Korkovidov Sergey Ioganovich
11. Brumshteyn Yu. M., Il'menskiy M. , Kolesnikov I. Robotekhnicheskkiye sistemy: voprosy razrabotki [Robotic systems: development issues] *Intellektual'naya sobstvennost'. Avtorskoye pravo i smezhnyye prava* [Intellectual property. Copyright and related rights], 2016, № 4, S. 49–64.
12. Golubkin I. A., Shcherbatov I. A. Vnutritrubnaya diagnostika gazoprovodov mobil'nym robotom. Chast' 1. Gibridnaya matematicheskaya model' peremeshcheniya robota vnuti trubyy [In-line diagnostics of gas pipelines by a mobile robot. Part 1. Hybrid mathematical model of robot movement inside a pipe]. *Prikaspiyskiy zhurnal: Upravleniye i vysokkiye tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], № 2 (34), 2016 Avtomatizatsiya i upravleniye tekhnologicheskimi protsessami, S. 69–81.
13. Zuyev V. M., Butov O. A., Ivanova S. B. Podgotovka obuchayushchikh dannykh dlya upravlyayushchey mekhanizmom neyronnoy seti [Preparation of training data for the neural network control mechanism]. *Materialy XIV mul'tikonferentsii po problemam upravleniya* [Proceedings of the XIV multiconference on control problems], Tom 1, S. 76–79.
14. Ivanova S. B., Sal'nikov I. S., Sal'nikov R. I. Robotooperatory i robotokomp'yutery: predposylki sozdaniya i obrazy Robot operators and robotic computers: prerequisites for creation and images]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], 2017, № 2 (5), S. 51–69.
15. Zuyev V. M., Butov O. A., Ivanova S. B., Nikitina A. A., Ulanov S. I. Sposob obucheniya neyronnoy seti upravleniya robotom [A method of training a neural network for controlling a robot]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intellect], 2021, № 2 (21).
16. Dorokhina G. V. Trebovaniya k informatsionnoy tekhnologii tsifrovogo sbora, obrabotki i analiza dannykh [Requirements for information technology of digital data collection, processing and analysis]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intellect], 2020, № 4 (19).
17. *Rezhim dostupa* [Access mode]: https://aliexpress.ru/item/32844017439.html?_t=gps-id%3ApcDetailBottomMoreThisSeller%2Cscm-url%3A1007.13339.169870.0%2Cpvid%3Ab4308e9a-ddf7-4da4-9
18. *Rezhim dostupa* [Access mode]: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionOfRolling/>

RESUME

V. M. Zuyev, O. A. Butov, S. I. Ulanov, A. A. Nikitina

Simulation of a robot for inspection engineering communications

This article presents a model of a robot for checking the condition for the purpose of revising and further operation of engineering communications.

On the basis proposed in [1-4], a robot inspector model was developed. It has been proven that the development meets all points of the proposed concept and allows you to implement all the necessary functionality.

To represent the efficiency of the robot, calculations were carried out, a table with technical characteristics is presented.

The article presents a model of a self-propelled mobile mechanism for working inside a contaminated pipe with residual sediments of sludge of tap water in the pipe, the necessary assemblies and mechanisms are applied to perform the necessary optimal robots for non-destructible control of the quality of the pipe being inspected on the route section, the pipeline being inspected to make a decision on it. repair or replacement. Proposed by the design of all mechanical elements and the sequence of their assembly in production. Power and thrust calculations have been carried out. a 3D model of the robot has been created.

The implementation of a robot model for the inspection of engineering communications allows solving a number of problems of increasing the efficiency of operation and maintenance in conditions of limited access to the subject of study.

РЕЗЮМЕ

В. М. Зувев, О. А. Бутов, С. И. Уланов, А. А. Никитина

Моделирование робота для инспектирования инженерных коммуникаций

В данной статье представлена модель робота для проведения проверки состояния с целью ревизии и дальнейшей эксплуатации инженерных коммуникаций.

На базе, предложенной в работах [1-4], разработана модель робота-инспектора. Доказано, что разработка удовлетворяет всем пунктам предложенной концепции и позволяет реализовать всю необходимую функциональность.

Для представления эффективности робота проведены расчеты, составлена таблица с техническими характеристиками.

В статье представлена модель самоходного подвижного механизма для работы внутри загрязненной трубы с остатками отложений ила водопроводной воды в трубе. Применены необходимые узлы и механизмы для выполнения необходимых оптимальных работ по не разрушаемому контролю состояния качества проверяемой трубы на участке трассы, проверяемого трубопровода для принятия решения о его ремонте или замене. Предложена конструкция всех механических элементов с последовательностью их сборки на производстве. Проведены энергетический, силовой и тяговый расчеты. Создана 3D-модель робота.

Реализация модели робота для инспектирования инженерных коммуникаций позволяет решить ряд задач повышения эффективности эксплуатации и обслуживания в условиях ограниченного доступа к предмету изучения.

Статья поступила в редакцию 20.09.2021.