

УДК 528.013

С. А. Рудской

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Институт проблем искусственного интеллекта»,  
283048, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, 118-б

## УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИДЕОИНСПЕКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

S. A. Rudskoy

Federal State Budgetary Scientific Institution «Institute of Artificial Intelligence Problems»  
283048, Donetsk People's Republic, Donetsk, Artem str., 118 b

## ROBOTIC DEVICE CONTROL FOR VIDEO INSPECTION OF PIPELINES OF CITY WATER SUPPLY NETWORKS

С. А. Рудський

Федеральна державна бюджетна наукова установа «Інститут проблем штучного інтелекту»,  
283048, Донецька Народна Республіка, м. Донецьк, вул. Артема, 118-б

## КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИМ ПРИСТРОЄМ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВІДЕОІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ МІСЬКИХ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Представлена реализация роботизированного устройства для проведения видеоинспекции трубопроводов городских сетей водоснабжения. Рассмотрена структурная схема электро-технического оснащения отдельных модулей и основные программные компоненты системы.

**Ключевые слова:** шаговый двигатель, драйвер двигателя постоянного тока, инкрементальный энкодер, датчик давления.

The implementation of a robotic device for video inspection of pipelines of urban water supply networks is presented. The structural diagram of the electrical equipment of individual modules and the main software components of the system are considered.

**Keywords:** stepper motor, DC motor driver, incremental encoder, pressure sensor.

Представлено реалізацію роботизованого пристрою для проведення відеоінспекції трубопроводів міських мереж водопостачання. Розглянуто структурну схему електротехнічного оснащення окремих модулів та основні програмні компоненти системи.

**Ключові слова:** кроковий двигун, драйвер двигуна постійного струму, інкрементальний енкодер, датчик тиску.

Роботизированное устройство для проведения видеоскопии трубопроводов представляет собой автономное устройство [1], [2], осуществляющее движение внутри трубы «с распором». Робот прикладывает силы к стенкам трубы таким образом, чтобы повысить величины нормальных реакций, действующих на робота со стороны стенок трубы, для адаптации к диаметру трубы и прохождения препятствий используется интеллектуальная система на базе датчиков давления.

Для проведения визуального контроля состояния трубопровода на роботизированном устройстве установлена камера с подсветкой. Изображение передается по Wi-Fi и может быть просмотрено на любом автономном устройстве с установленным веб-браузером. Это может быть устройство на базе Android (смартфон или планшет), а также переносной ноутбук. Предусмотрена возможность подстраивать роботизированное устройство под различные диаметры труб (220 – 300 мм).

Структурная схема робота представлена на рис. 1.

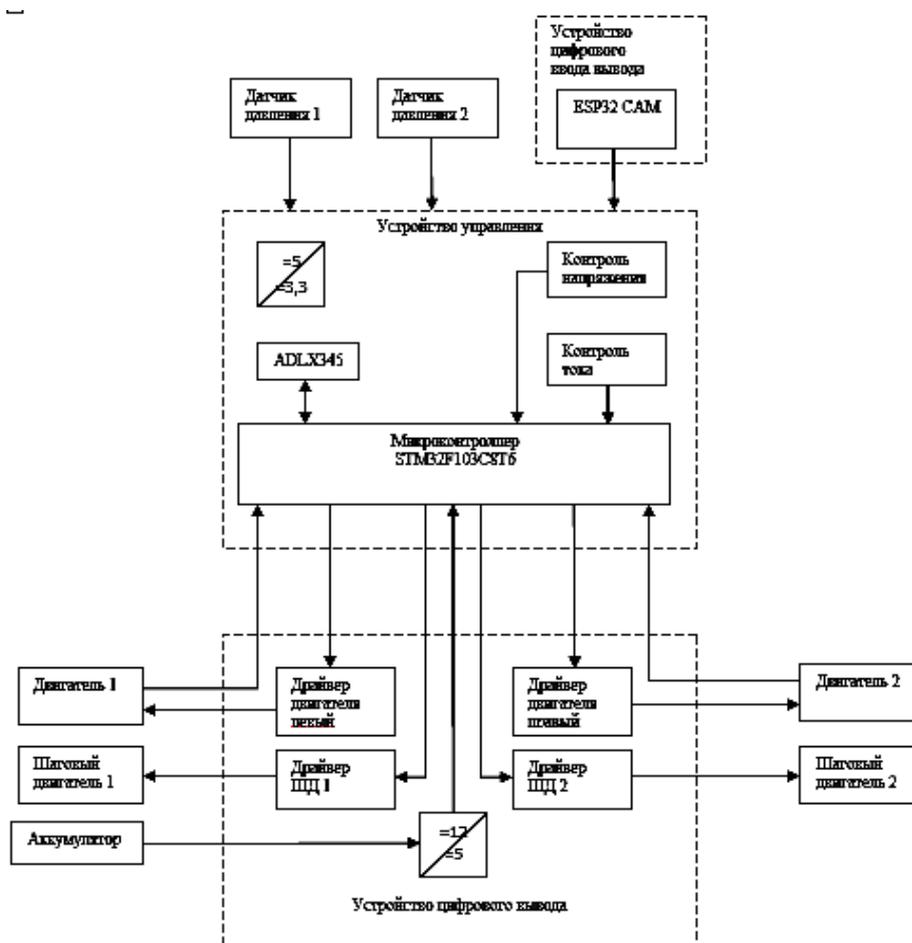


Рисунок 1 – Структурная схема робота

Устройство управления ИПИИ.467299.001 Э3

Устройство цифрового вывода ИПИИ.467299.002 Э3

Устройство цифрового ввода вывода ИПИИ.467299.003 Э3

Двигатель постоянного тока с редуктором и энкодером (1, 2)18RPM – 2 шт.

Шаговый двигатель (1,2)17HS4401– 2 шт.

Датчик давления (1,2) – 2 шт.

Источник питания

## Устройство управления ИПИИ.467299.001

В системе управления роботом в качестве основного микропроцессора используется STM32F103C8 [3], [4] фирмы STMicroelectronics.

Микропроцессоры подразделяются на универсальные (применяемые для решения любых задач) и специализированные (для решения ограниченного круга задач). Процессор Cortex-M3 построен по Гарвардской архитектуре памяти с отдельными шинами для кода и данных. Основными характеристиками микропроцессора являются его разрядность и тактовая частота, определяющая время выполнения микропроцессором отдельных операций по обработке данных. Любой алгоритм обработки информации может быть реализован в виде набора простейших арифметических и логических операций. Система управления роботом состоит из 2 электронных плат и обеспечивает выполнение следующих функций:

- навигация устройства;
- обработка данных с датчиков давления;
- управление механикой (двигателями);
- обработка сигналов управления;
- контроль источника питания.

Узел навигации представлен модулем ADXL345 [5], который выполняет роль трехосевого акселерометра и измеряет положение робота относительно оси трубы. Оси чувствительности представлены на рис. 2. Соответствующее выходное напряжение увеличивается вдоль оси чувствительности.

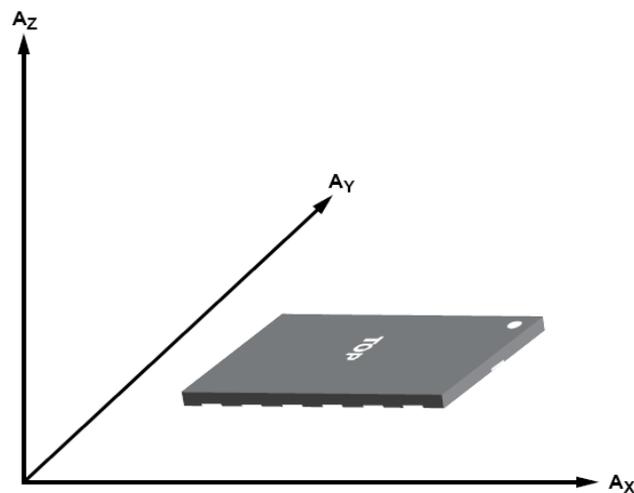


Рисунок 2 – Оси чувствительности акселерометра ADXL345

Микропроцессор STM32 может обмениваться данными с акселерометром ADXL345 через интерфейс I2C. I2C интерфейс может работать как ведомый или ведущий, а также осуществлять арбитраж в системе с несколькими ведущими. I2C интерфейс поддерживает стандартные частоты передачи данных до 100 кГц и быструю передачу данных на частотах до 400 кГц. Модуль I2C поддерживает 7-битный и 10-битный режимы адресации.

Датчик давления FSR402 (рис. 3) предназначен для отслеживания степени прижима для каждого колеса расположенного на двигателе постоянного тока. Степень прижима при необходимости регулируется с помощью шаговых двигателей, индивидуально для каждой группы колес. Для регулировки прижима колес к стенкам трубы и адаптации к ее диаметру датчики давления FSR402 привязаны к ведущим колесам через двойной шарнир.



Рисунок 3 – Датчик давления

Датчик давления – это резистор, чувствительный к силе (FSR) [6], представляет собой устройство с толстой полимерной пленкой, сопротивление которого уменьшается с увеличением силы, прикладываемой к активной поверхности. На рис.4 показано его устройство.

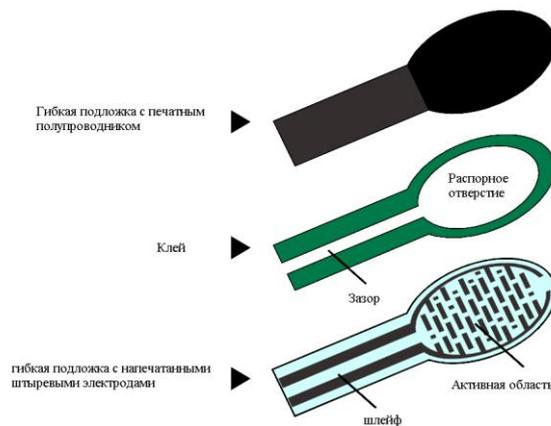


Рисунок 4 – Устройство датчика FSR402

Зависимость выходного напряжения от приложенной силы и при различных значениях сопротивления нагрузки приведено на рис. 5.

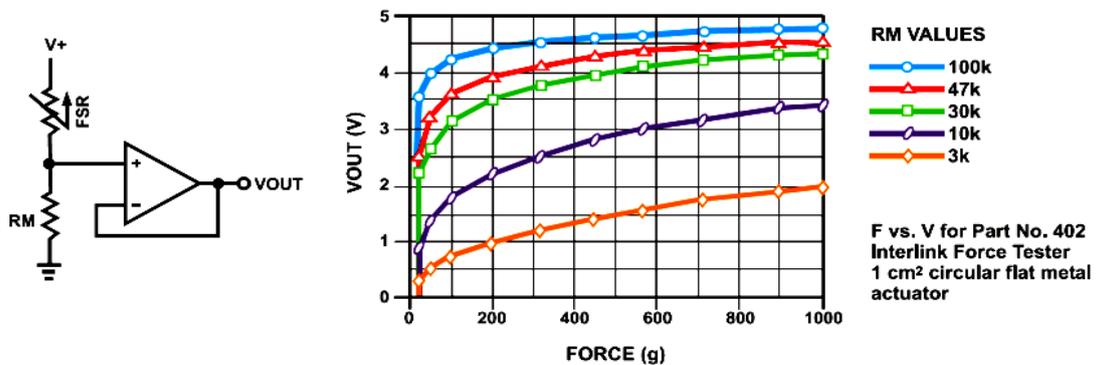


Рисунок 5 – Зависимость выходного напряжения от приложенной силы

Аналоговые данные с датчиков давления подаются на входы аналогово-цифрового преобразователя микропроцессора. Микропроцессор STM32 [7], в зависимости от версии, может содержать до двух независимых аналогово-цифровых преобразователей. АЦП имеет отдельный источник питания с напряжением в диапазоне от 2.4 В до 3.6 В, в зависимости от типа корпуса. Опорное напряжение АЦП подключается внутри к напряжению питания АЦП, или подается на специальный вывод. АЦП обладает разрешающей способностью 12-бит и скоростью преобразования 1МГц. АЦП содержат до 18 мультиплексированных каналов, 16 из которых выводятся наружу.

- Канал 1 аналогово-цифрового преобразователя подключен к цепи контроля входного напряжения.
- Канал 2 аналогово-цифрового преобразователя подключен к цепи контроля тока потребления.
- Каналы 3,4 аналогово-цифрового преобразователя подключены к выходам датчиков давления.

Для управления линейным и шаговым двигателями используются таймеры микропроцессора STM32. Микропроцессор STM32 содержит четыре таймера. Таймер 1 – это таймер с расширенными функциями, предназначенный для управления приводами. Остальные таймеры являются таймерами общего назначения. Все таймеры имеют общую архитектуру, таймер с расширенными функциями содержит только дополнительные аппаратные функциональные блоки. Все таймеры построены на базе 16-битного счетчика с 16-битным делителем частоты и автоматически перезагружаемым регистром. Счетчик таймера может считать в прямом направлении, в обратном направлении или до середины в прямом и затем в обратном направлении. На вход тактового сигнала может подаваться сигнал от одного из восьми источников.

Кроме базового режима сравнения, каждый таймер поддерживает специальный режим генерации ШИМ. В этом режиме период ШИМ задается значением, хранящимся в автоматически перезагружающемся регистре таймера. Длительность импульса определяется значением, хранящимся в регистре захвата/сравнения соответствующего канала. Таким образом, каждый таймер может генерировать до четырех независимых ШИМ сигналов. С помощью модуля захвата каждого из таймеров можно организовывать интерфейс с внешним кодером. Кодер обычно используется при оценке скорости вращения и угла поворота.

Таймер 2 каналы 1,2 используются в режиме захвата для вычисления скорости вращения и угла поворота инкрементального энкодера, установленного на двигателе постоянного тока № 1.

Таймер 3 каналы 1,2 используются в режиме захвата для вычисления скорости вращения и угла поворота инкрементального энкодера, установленного на двигателе постоянного тока № 2.

Таймер 4 используется для управления двигателями.

Таймер 4 канал 1,2 управляют скоростью вращения двигателей постоянного тока.

Таймер 4 канал 3,4 управляют вращением шаговых двигателей.

Команды управления роботом принимаются модулем ESP32 и передаются по последовательному интерфейсу USART в микропроцессор STM32.

Микропроцессор STM32 содержит до трех USART, каждый из которых поддерживает несколько расширенных режимов для работы в составе современных устройств с последовательной передачей данных. Каждый из трех USART может обмениваться данными со скоростью до 4 Мбит/с. Для каждого USART можно задавать длину посылки данных (8 или 9 бит), стоповый бит четности и скорость передачи.

Для управления роботом используются следующие команды:

- управление скоростью вращения двигателями постоянного тока (движения вперед, назад, останов);
- управление вращением шаговыми двигателями (увеличить, уменьшить давление, останов);
- включение / выключение светодиодной подсветки.

Для питания микропроцессора STM32, акселерометра ADXL345 и датчиков давления применяется линейный стабилизатор LD1117AS33, на вход которому подается напряжение 5В, выходное напряжение 3,3В.

## Устройство цифрового вывода ИПИИ.467299.002

Для управления двигателями постоянного тока применяются несколько схем, самая функциональная из которых Н–мост. Обобщенная схема представлена на рис. 6.

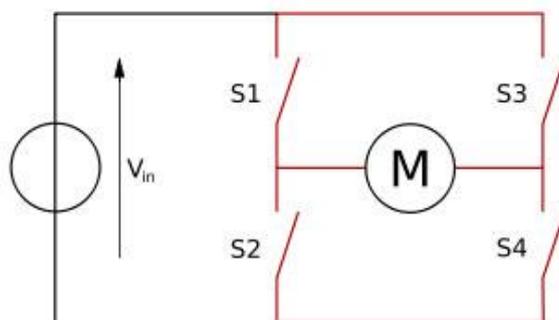


Рисунок 6 – Обобщенная схема Н–моста

Данная схема состоит из четырех ключей, включенных попарно последовательно, между парами включается двигатель (якорная цепь). Два верхних ключа подключаются к положительной шине источника питания, два нижних ключа – к отрицательной шине источника питания. Для работы двигателя необходимо, чтобы были включены два ключа, например S1 и S4, в таком случае ток будет протекать от источника питания через ключ S1, далее через якорь двигателя и через ключ S4. В то же время, два другие ключа должны быть закрыты. Для изменения направления тока в якоре двигателя (а, соответственно, и направления вращения двигателя) необходимо закрыть открытые ключи S1 и S4, а ключи S2 и S3 открыть.

В зависимости от требуемой скорости переключения в качестве ключей могут применяться либо реле, либо транзисторы. В разрабатываемом проекте требуется высокая скорость переключения (т.к. управление двигателем будет осуществляться с помощью ШИМ), а следовательно, в роли ключей должны применяться транзисторы.

На сегодняшний день получили широкое распространение микросхемы – драйверы двигателей, которые включают в себя необходимую схему Н–моста, а также обвязку для силовых ключей.

Двигатели постоянного тока управляются микросхемой L293D [8], представляющей собой двойной мостовой драйвер для управления двунаправленными нагрузками с токами до 0.6А и напряжением от 4.5 В до 36 В. Микросхема разработана для управления двигателями постоянного тока и шаговыми двигателями. L293D имеет TTL совместимые входы. В L293D существует разделение электропитания для логической схемы и для нагрузки, что позволяет подключить нагрузку с меньшим или большим напряжением питания, чем у микросхемы, а также уменьшает помехи.

Для управления данным драйвером требуется 3 входных сигнала, которые будут подаваться от микроконтроллера: 1 – сигнал ШИМ, 2 и 3 направления вращения двигателя, останов.

Шаговые двигатели управляются модулем А4988, представляющий собой двойной мостовой драйвер для управления двунаправленными нагрузками с токами до 1.6А и напряжением от 8 В до 35 В. Модуль разработан для управления двигателями постоянного тока и шаговыми двигателями. А4988 имеет TTL совместимые входы. В А4988 существует разделение электропитания для логической схемы и для нагрузки, что позволяет подключить нагрузку с меньшим или большим напряжением питания, чем у микросхемы, а также уменьшает помехи.

Для управления данным драйвером требуется 3 входных сигнала, которые будут подаваться от микроконтроллера: 1 – разрешение работы, 2 сигнал ШИМ, 3 направление вращения двигателя.

Для измерения тока потребления электронной схемой применяется датчик тока (шунт), резистор 0.1 Ом. Для расширения диапазона выходного напряжения применили операционный усилитель. Схема представлена на рис. 7.

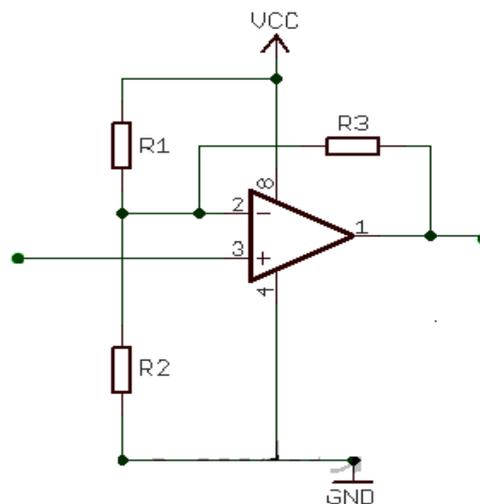


Рисунок 7 – Схема включения операционного усилителя

Данная схема позволяет отмасштабировать сигнал с датчика, что позволит подключить его к АЦП микроконтроллера и получать более точные измерения.

## Устройство ввода вывода ИПИИ.467299.003

Устройство реализовано на ESP32 и используется для передачи видео изображения при движении робота и прием команд управления движения робота вперед, назад, останов, начальная установка силы прижима колес, включение/выключение подсветки.

Программное обеспечение робота включает библиотеки функций для работы с модулями системы. Для генерации исходного кода настройки периферии микроконтроллера STM32 использовался пакет STM32CubeMX фирмы STMicroelectronics, который позволяет настраивать периферию с помощью графического интерфейса.

Микроконтроллер должен выполнять следующие функции: принимать сигналы по току потребления и напряжения питания, обрабатывать сигналы датчиков давления, управлять двигателями, выдавая управляющие сигналы на драйверы двигателей. Принимать команды управления роботом.

Функциональные модули начальной инициализации и управления роботом представлены в табл. 1.

Таблица 1

№	Функция	Значение
1.	MX_GPIO_Init()	Начальная инициализация портов ввода / вывода.
2.	MX_I2C2_Init()	Инициализация интерфейса I2C
3.	MX_USART1_UART_Init()	Инициализация последовательного интерфейса UART
4.	MX_ADC1_Init()	Инициализация аналогово-цифрового преобразователя
5.	MX_TIM1_Init()	Инициализация Timer 1, формирование временного интервала 100 mS
6.	MX_TIM2_Init()	Инициализация Timer 2, чтение сигналов с энкодера 1
7.	MX_TIM3_Init()	Инициализация Timer 3, чтение сигналов с энкодера 2
8.	MX_TIM4_Init()	Инициализация Timer 4, формирование сигналов PWM заданной скважности
9.	adxl_init()	Инициализация акселерометра ADXL345
10.	adxl_read_values (uint16_t ch)	Чтение данных с акселерометра
11.	PWM_1(uint16_t ch)	Задание скорости вращения двигателя постоянного тока.
12.	PWM_3(void)	Управление шаговым двигателем 1
13.	PWM_4(void)	Управление шаговым двигателем 2
14.	ADC_Select_Channel(uint32_t ch)	Устанавливает конфигурацию выбранного канала АЦП регулярной группы.
15.	AdcRead (void)	Чтение данных АЦП 4 канала.
16.	currCounterL = __HAL_TIM_GET_COUNTER(&htim2);	Считывание значения оборотов с энкодера.
17.	dirL = __HAL_TIM_IS_TIM_COUNTING_DOWN(&htim2);	Считывание значения направления вращения энкодера.
18.	usart1_send_string(const char str[])	Передача строки сообщения по UART
19.	Driver (uint8_t Cmd)	Прием команд по UART и управление всеми исполнительными механизмами робота

Перечень команд управления роботом представлен в табл. 2.

Таблица 2

№	Команда	Выполняемая функция
1.	#0\n	Остановка всех двигателей
2.	#1\n	Движение вперед, при повторной подаче команды скорость движения увеличивается.
3.	#2\n	Движение в обратном направлении, при повторной подаче команды скорость движения увеличивается.
4.	#3\n	Команда управление шаговыми двигателями на подъем
5.	#4\n	Команда управление шаговыми двигателями на опускание
6.	#8\n	Включить светодиодную подсветку
7.	#9\n	Выключить светодиодную подсветку

## Устройство цифрового ввода вывода ИПИИ.467299.003

Передача видео изображения и прием команд управления осуществляются с использованием модуля Wi-Fi ESP32-CAM, основанного на микроконтроллере ESP32-S.

На данном микроконтроллере реализован веб-сервер. Клиентское программное обеспечение (обычно – веб-браузер), работающее на устройстве пользователя (персональный компьютер, ноутбук, смартфон), инициирует HTTP-запрос к веб-серверу на получение доступа к ресурсу, местоположение которого определено URL-адресом. Получив запрос, веб-сервер интерпретирует его и формирует HTTP-ответ: организует доступ к запрашиваемому ресурсу или же выдает сообщение об ошибке. Веб-браузер форматирует полученный от сервера ответ и отображает его пользователю.

Компоненты HTML-страницы (сайта) хранятся на HW-сервере и обслуживаются программами-обработчиками – SW-серверами. Номер порта (например, 80 или 5000) идентифицирует программу, запущенную на HW-сервере и обслуживающую компоненты HTML-страницы, доступ к которой осуществляется по её IP-адресу.

Для организации удаленного управления, подключенного к модулю устройству и потоковой передачи изображений на веб-страницу, при программировании были использованы библиотеки WiFi, esp\_camera и esp\_http\_server. Помимо основного файла с кодом, проект отдельно включает файл config\_camera.h с параметрами для инициализации и конфигурации модуля камеры, файл html\_page.h, который содержит HTML-код страницы, стили CSS и сценарии JavaScript, а также файлы функций-обработчиков command\_handler.h, stream\_handler.h и page\_handler.h.

## Выводы

Предложенная структура управления роботизированным устройством является достаточно универсальной и может применяться в роботизированном устройстве для проведения видеоспециальной инспекции трубопроводов городских сетей водоснабжения.

## Список литературы

1. Промышленный робот [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Анализ современного состояния применения роботов в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
3. Зуев, В. М., Бутов, О. А., Уланов, С. И., Никитина, А. А. Моделирование робота для инспектирования инженерных коммуникаций // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». 2021. № 4.
4. Бутов, О. А. Передача радиосигнала по трубопроводам городских сетей водоснабжения // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». 2022. № 4. С.80–90.
5. Cortex-M3 Technical reference manual.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://library.tsilikin.ru/Техника/Информационные%20технологии/Программирование/Микроконтроллеры%20ARM/Cortex-M3%20Technical%20Reference%20Manual.pdf>
6. STM32F103xx User Manual.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/rm0008-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0008-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf)
7. 3-Axis,  $\pm 2$  g/ $\pm 4$  g/ $\pm 8$  g/ $\pm 16$  g Digital Accelerometer ADXL345.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/evaluation-documentation/EVAL-ADXL345Z.pdf>
8. Fsrduide.pdf датчик давления
9. STM32™'s ADC modes AN3116.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf)

10. L293D.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/l293d.pdf>
11. Datasheet ESP32 Series.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
12. Technical Reference Manual ESP32.pdf [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
13. UM1718.pdf STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/10/c5/1a/43/3a/70/43/7d/DM0104712.pdf/files/DM0104712.pdf/jcr:content/translations/en.DM0104712.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/10/c5/1a/43/3a/70/43/7d/DM0104712.pdf/files/DM0104712.pdf/jcr:content/translations/en.DM0104712.pdf)

## References

1. *Industrial robot* [Promyshlennyy robot]. Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. *Analysis of the current state of the use of robots in industry* [Analiz sovremennogo sostoyaniya primeneniya robotov v promyshlennost]. – Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
3. Modeling a robot for inspecting engineering communications [Modelirovaniye robota dlya inspektirovaniya inzhenernykh kommunikatsiy] / V. M. Zuev, O. A. Butov, S. I. Ulanov, A. A. Nikitina. *International peer-reviewed scientific and theoretical journal “Problems of Artificial Intelligence”* [Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»]. 2021. No. 4.
4. Butov O. A. Radio signal transmission through pipelines of urban water supply networks [Peredacha radiosignala po truboprovodam gorodskikh setey vodosnabzheniya]. *International peer-reviewed scientific and theoretical journal “Problems of Artificial Intelligence”* [Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»]. 2022. No. 4. P. 80–90.
5. Cortex-M3 Technical reference manual.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
<https://library.tsilikin.ru/Tekhnika/Informatsionnyye%20tehnologii/Programmirovaniye/Mikrokontrolley%20ARM/Cortex-M3%20Technical%20Reference%20Manual.pdf>
6. STM32F103xx User Manual.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
[https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/rm0008-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0008-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf)
7. 3-Axis,  $\pm 2$  g/ $\pm 4$  g/ $\pm 8$  g/ $\pm 16$  g Digital Accelerometer ADXL345.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/evaluation-documentation/EVAL-ADXL345Z.pdf>
8. Fsrduide.pdf datchik davleniya
9. STM32™’s ADC modes AN3116.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf)
10. L293D.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l293d.pdf>
11. Datasheet ESP32 Series.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
12. Technical Reference Manual ESP32.pdf [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
13. UM1718.pdf STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa:  
[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/10/c5/1a/43/3a/70/43/7d/DM0104712.pdf/files/DM0104712.pdf/jcr:content/translations/en.DM0104712.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/10/c5/1a/43/3a/70/43/7d/DM0104712.pdf/files/DM0104712.pdf/jcr:content/translations/en.DM0104712.pdf)

## RESUME

*S. A. Rudskoy*

*Robotic Device Control for Video Inspection of Pipelines of City Water Supply Networks*

**Object of study:** the use of a robotic device for video inspection of pipelines in urban water supply networks.

**Purpose of the work:** development of a robotic device for video inspection of pipelines of urban water supply networks.

**Relevance:** Inspection of engineering structures (city water supply networks) to identify emergency areas is a serious problem due to its complexity and labor intensity. A large proportion of pipelines have expired their warranty period. The solution to the problem may be the use of robotic devices to identify various defects in welds and shut-off valves before this could become a serious problem.

**Economic efficiency:** the proposed robotic device for video inspection of pipelines will save money when repairing them. The device will allow you to accurately determine the emergency area and carry out excavation work exactly at the accident site to replace the damaged part of the pipeline.

## РЕЗЮМЕ

*С. А. Рудской*

*Управление роботизированным устройством для проведения видеоспециции трубопроводов городских сетей водоснабжения*

**Объект исследования:** применение роботизированного устройства для проведения видеоспециции трубопроводов городских сетей водоснабжения.

**Цель работы:** разработка роботизированного устройства для проведения видеоспециции трубопроводов городских сетей водоснабжения.

**Актуальность:** Инспектирование инженерных сооружений (городских сетей водоснабжения) для выявления аварийных участков является серьезной проблемой ввиду ее сложности, трудоемкости. Большая доля трубопроводов выработали свой гарантийный срок эксплуатации. Решением проблемы может стать применение роботизированных устройств для выявления различных дефектов сварных швов и запорной арматуры до того, как это могло стать серьезной проблемой.

**Экономическая эффективность:** предлагаемое роботизированное устройство для проведения видеоспециции трубопроводов позволит экономить средства при их ремонте. Устройство позволит точно определить аварийный участок, и проводить земляные работы точно в месте аварии для замены поврежденной части трубопровода.

Статья поступила в редакцию 10.02.2023.