

Фестиваль «РобоФинист» 2024
Творческая категория

**ОТЧЕТ по проекту "КОМПЛЕКС РОБОРИЗИРОВАННОГО
ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУБ - КРОТ"**

Команда "МШП 25"

Старшая возрастная категория

Выполнили:

Корнилов Егор, ученик 10 класса

МБОУ г. Пушкино

«Образовательный комплекс №8»;

Зелик Галина, ученица 10 класса

МОУ Дергаевская СОШ №23

Руководитель:

Васильченко Максим Романович,

педагог дополнительного

образования

г. Москва,

2024

Содержание

АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1 Конструирование прототипа	8
Глава 2 Датчики в системах прототипа	12
Глава 3 Программа	14
Глава 4 Экономическая часть.....	15
Глава 5 Эксперимент.....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
1 Развитие проекта	20
2 Итоги.....	22
3 Список литературы	23
4 Источники информации.....	23
А.1 Приложение "Программа управления движением робота"	24
А.2 Приложение "Программа сегментации изображения"	26
А.3 Приложение «Отладка компьютерного зрения».....	28

АННОТАЦИЯ

Проект «Комплекс роботизированного обследования труб – КРОТ» направлен на создание уникального инструмента для быстрой и качественной диагностики трубопроводных систем на предприятиях нефтехимического комплекса (НХК) России. «КРОТ» призван стать незаменимым помощником в обеспечении безопасности и надежности транспортировки химически активных веществ. Комплекс позволит не только своевременно выявлять дефекты, но и оптимизировать расходы на ремонт и обслуживание трубопроводов.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА:

Разработать роботизированный комплекс «КРОТ» для высокопроизводительного и систематичного инструментального обследования трубопроводных систем на предприятиях нефтехимического комплекса Российской Федерации.

ЗАДАЧИ:

1. Проанализировать аналоги и актуальность изделия;
2. Определить функциональные возможности, характеристики и эксплуатационные параметры будущего комплекса.
3. Спроектировать механическую конструкцию робота, включая его подвижные элементы, системы управления и камеры.
4. Интегрировать камеры для визуального осмотра внутренней поверхности трубы;
5. Разработать систему визуального анализа на основе машинного зрения;
6. Разработать программное обеспечение для управления движением робота;
7. Разработать систему планирования маршрутов обследования;
8. Провести комбинированные испытания роботизированного комплекса «КРОТ» для оценки соответствия его техническим требованиям;
9. Доработать конструкцию и программное обеспечение робота на основе результатов испытаний.
10. Произвести сравнительный анализ результатов обследования с помощью «КРОТ» и традиционными методами;
11. Рассчитать затраты на производство и возможную прибыль;
12. Разработать план по внедрению комплекса «КРОТ» на НХК.

МЕТОДЫ И ПРИЕМЫ:

1. Конструирование:

Моделирование, при котором использовались методы компьютерного моделирования, применялись комплексные программы системы автоматизированного проектирования (САПР), а также отдельно САД и САМ программы для разработки конструкции робота, с учетом требований к прочности, что позволило увеличить точность, сократить затраты и время моделирования.

Применение 3D-печати методом FDM – методом послойного наплавления, для изготовления прототипов и отдельных компонентов робота, что позволяет быстро и недорого создавать сложные геометрические формы.

2. Обработка данных:

Разработка систем сбора и хранения данных с камер, обеспечивающих высокую скорость передачи данных, синхронизацию и отказоустойчивость.

Применение баз данных для хранения и обработки больших объемов данных.

Применение методов статистического анализа для извлечения информации из данных и выявления закономерностей.

Качественная оценка физического износа и морального устаревания трубопроводов для транспортировки химически активными веществ с помощью "КРОТ" поможет своевременно находить аварийные участки в системах. Капитальный ремонт или замена аварийных участком трубопроводов позволит избежать экологических катастроф и экономических убытков из-за простоя предприятия во время ремонта.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

Комплекс "КРОТ" может использоваться на всех этапах жизненного цикла трубопровода:

– Строительство (как на этапе монтажа, так и при вводе в эксплуатацию "КРОТ" позволит быстро и качественно проверять сварные соединения);

– Эксплуатация (визуальный осмотр, проверка толщины защитного слоя трубопроводов, проверка сварных соединений без демонтажа трубопроводной системы).

– Экспертный анализ физического состояния трубопроводных систем для планирования затрат на капитальный ремонт или перевооружение предприятия.

НОВИЗНА:

Уникальная система плеч с ручным натяжением ремней, внизу расположен мотор (расписать пару предложений)

Комплексный подход:

Комплексное обследование трубопроводов, включающее в себя контроль геометрии, выявление дефектов.

Использование робототехники:

Применение роботизированного решения для передвижения по трубопроводам различных диаметров.

Методики обследования:

Разработка методик обследования для различных типов трубопроводов и на разных стадиях их жизненного цикла.

Сочетание данных факторов делает проект «КРОТ» уникальным решением для обследования трубопроводов, которое позволит повысить безопасность, эффективность и надежность их эксплуатации.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

В рамках проекта была успешно создано роботизированное решение для обследования трубопроводов, программное обеспечение для управления роботом, обработки данных. Разработаны методики обследования для различных типов трубопроводов.

Поставленная цель работы выполнена, проведены испытания комплекса «КРОТ», которые подтвердили высокую эффективность разработки.

ВВЕДЕНИЕ

Территории современных заводов нефтехимической отрасли на 80% заполнены трубопроводными системами (см. Рисунок 1). На территории применяются газоанализаторы и детекторы, определяющие выброс вредных веществ в окружающую среду. В случае аварийного выброса вредных веществ могут пострадать люди, животные и окружающая природа. При аварии на предприятии появляются репутационные, финансовые, экологические риски.



Рисунок 1 – Современные трубопроводы

В современной действительности трубопроводы проверяются визуальным осмотром, опрессовкой и выборочной проверкой сварных соединений ультразвуковым или рентгеновским способом. Для этого необходимо останавливать производство на регламентные работы.

В предлагаемом нами комплексе будет значительно сокращено время на проведение регламентных работ, за счет способности двигаться по трубам с гораздо большей скоростью, чем человек, а также за счет возможности работать в труднодоступных местах, куда человеку добраться сложно или невозможно. Сокращение времени приведет к увеличению прибыли, а отсутствие аварийности к финансовой стабильности предприятия, высокому качеству выпускаемой продукции и как следствие экономическому росту всей страны.

"КОМПЛЕКС РОБОРИЗИРОВАННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУБ – КРОТ" разработан с целью быстрого и качественного инструментального обследования протяженных трубопроводных систем. На первом этапе комплекс состоит из одного робота оснащенного камерой высокого разрешения и комплекса управления. Связь робота с органами управления и контроля осуществляется по проводу. На втором этапе разработки данный робот будет оборудован сенсорами ультразвуковой диагностики сварных соединений и внутреннего защитного слоя труб.

Мировой рынок внутритрубной диагностики труб оценивается более чем в 20 млрд долларов; на диагностику с помощью роботов приходится 1 млрд долларов. По оценке аналитиков, в ближайшие 7 лет это будет самый динамично развивающийся сегмент со среднегодовым темпом роста 17%.

Основные дефекты, которые могут встречаться в трубопроводах:

Потери металла (эрозия) - 54%; Ржавчина (коррозия) - 42%; Трещины - 2.5%;

Прочие - 1.5%

Что умеют выявлять работы:

- Сплошная и язвенная коррозия;
- Питтинговая коррозия;
- Трещиноподобные дефекты, в том числе КРН;
- Внутренние дефекты металла (расслоения, ликвации и т.д.);
- Эрозионный износ металла тела трубы;
- Поверхностные и внутренние дефекты кольцевых сварных соединений;
- Посторонние предметы и загрязнения, снижающие эффективность работы

КС;

- Вмятины и овальность.

В Газпром подготовили реестры СТО 2-3.5-046-2006, в котором описано, в частности:

– Реестр вновь разработанных роботизированных диагностических комплексов для внутритрубного технического диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций, соответствующих техническим требованиям ПАО "Газпром" и допущенных к опытно-промышленной эксплуатации;

– Реестр оборудования для внутритрубного технического диагностирования (ВТД) линейной части магистральных газопроводов и газопроводов-отводов ПАО "Газпром", соответствующего техническим требованиям ПАО "Газпром"

Приведено в работе...[7]

Реестр диагностических комплексов для внутритрубного технического диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций

Приведено в работе...[8]

– Реестр наружных сканеров-дефектоскопов для автоматизированного неразрушающего контроля газопроводов при капитальном ремонте

Приведено в работе...[9]

– Требования к оценке готовности подрядных организаций к выполнению работ по диагностике магистральных газопроводов ПАО «Газпром»

– Приведено в работе...[10]

– Список компаний, допущенных к выполнению работ по диагностике объектов линейной части магистральных газопроводов ПАО "Газпром" (на 01.10.2017)

Приведено в работе...[11]

– Список организаций, допущенных к выполнению работ по диагностике объектов компрессорных станций ПАО "Газпром"

Приведено в работе...[12]

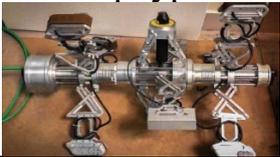
Глава 1 Конструирование прототипа

Выбор конструктивной схемы робота основывался на следующих критериях;

- Простота конструкции для удешевления производства;
- Ремонтопригодность для быстрого ремонта в полевых условиях;
- Простота управления и автоматизация выявления дефектов трубопроводной системы.

В качестве аналогов и прототипов были рассмотрены роботы имеющихся на рынках России и других стран. Информация об аналогах представлена в таблице 2

Таблица 2 – Анализ аналогов

Название	Авто-ном-ность	Высокая про-хо-димость	Цент-рирова-ние	Поиск дефект-ов	Низкая цена	Даль-ность связи
Amplus, AQUAM Corp., США 	+	-	-	+	+	+
HiBot, Япония (есть также HiBot USA) 	+	-	+	+	-	-
Робот внутритрубного контроля, С.Петербург 	+	-	+	+	-	+
Робот внутритрубного контроля, Газпроект-ДКР (ГК Диаконт), С.Петербург 	+	-	+	+	-	+

Продолжение таблицы 2

Название	Авто-ном-ность	Высокая про-хо-димость	Цент-рирова-ние	Поиск дефект-ов	Низкая цена	Даль-ность связи
(ООО "Диагностические роботы), Россия PETRON, Диагностические роботы, Россия (XX) 	+	+	+	+	-	+
Tubot (ООО Тьюбот, входит в ГК ТехноСпарк и Сигма.Новосибирск), Россия 	+	+	+	+	-	-
КРОТ 	+	+	+	+	+	+

Выбираем конструкцию в виде цилиндра с выдвигающимися опорами с колесным приводом. Крепление камеры предусмотрено впереди на вращающейся опоре.

При выполнении работы были созданы прототипы для тестирования системы, детальное описание и полная информация представлена в таблице 3

Таблица 3 - Прототипы системы «КРОТ»

№ п/п	Наименование прототипа	Изображение	Особенности прототипа
1.	«Jeffrey» Конец апреля		<p>В первом прототипе, который был сделан до проведения первого эксперимента, зарождается концепция автоматического центрирования внутри трубы, передачи момента вращения с мотора до колес с помощью шкивов и ремня, колеса располагаются с боку с краю плеча. Корпус принимает форму цилиндра.</p>
2.	«Coulter» Середина – конец мая		<p>Во втором прототипе полностью развита концепция центрирования. Робот перемещается по трубам разного диаметра размещение колес смещено в цент. Колеса держатся на 2 латунных подшипниках, созданных самостоятельно, между ними протянут вал, на котором располагается колесо. Шкив находится между левым подшипником и колесом, на шкив ремень натянут внизу расположен мотор, на кот расположен ремень он передает вращение на колесо. Плечо держится на валу, вал держат 2 крепления, они закреплены к стенкам корпуса. Наклон плеч регулируется с помощью сервоприводов за счет шестеренок, которые сделаны из пластика, одна располагается на плече, вторая на сервоприводе, число зубьев - 36</p> <p>Добавлена камера и подсветка белыми светодиодами, на корпусе создана армирующая конструкция, в данный момент управление и питание осуществляется через провод, однако, проанализировав 1 прототип с дистанционным управ,</p>

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Наименование прототипа	Изображение	Особенности прототипа
			<p>после осуществления эксперимента установки, мы перешли на управление и питание через кабель.</p>
3.	<p>«Torrey» Начало-середина июня</p>		<p>В 3 прототипе была переработана конструкция для удешевления и простоты изготовления, а также уменьшения веса робота, в качестве корпуса была использована алюминиевая гильза от дымохода в диаметре 200мм, длина 250, толщина 0,7мм внутрь. Плечи были заменены на ал прям профили 40 на 20 на 1,5 мм во внутрь отверстия под колеса с помощью УШМ. Заменена подсветка на RGB светодиодный круг, для рассеивания света, сервоприводы заменены на пружины для удешевления, также была переработана конструкция крепления для валов Подшипники располагаются внутри самого колеса, шкив тоже на колесе. Система крепления валов была изменена для уменьшения веса и стоимости робота. Валы в длине уменьшились. После проведения второго эксперимента, мы разработали систему натяжения ремня.</p> <p>Добавлен рисунок на протекторе для того, чтобы робот не проскальзывал в трубе.</p> <p>После участия в олимпиаде, мы учли рекомендации и замечания, питание робота было заменено на батарейки, благодаря этому провод не будет цепляться за трубопровод, это не будет вредить работе системы.</p>

Глава 2 Датчики в системах прототипа

Корпус «КРОТ» напечатан на 3D принтере российского производства «Picaso 3D Designer X» из PLA пластика. К корпусу крепятся выдвижные опоры, плата управления, блок камер, электрический двигатель. Опоры выдвигаются с помощью сервопривод. К опорам прикреплены колеса, на которые передается крутящий момент от электрического двигателя с помощью ремённой передачи. Схему робота (см. рисунок 2)

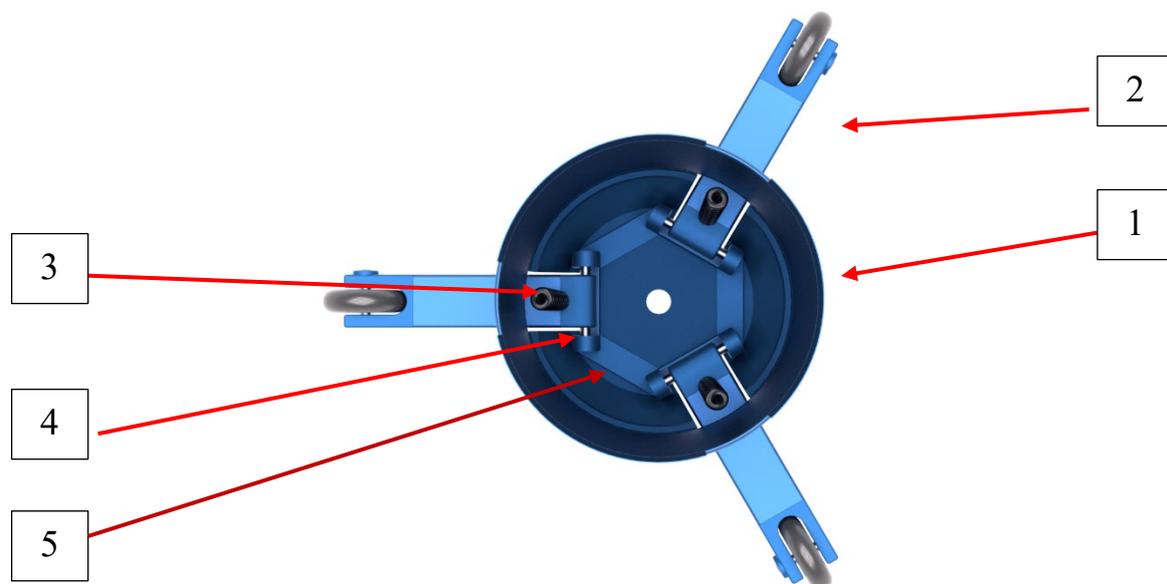


Рисунок 2 – Схема «КРОТ»

1. Корпус;
2. Опора с ремённым приводом на колесо;
3. Пружина;
4. Вал;
5. Крепление валов.

В проекте не обойтись без электроники:

Камера *ipi fish eye* – это широкоугольная камера для визуальной одометрии. Она может захватывать и обрабатывать изображения, а также создавать визуализацию. Мы выбрали именно её из-за низкой цены, гибкости и разнообразного программного обеспечения. В проекте, камера отслеживает какие-либо физические изменения внутри трубы и сообщает о них. Можно приобрести на AliExpress.

Мотор-редуктор *5Pcs 50RPM N20 DC* – это набор из 5 небольших моторов с редуктором. Он уменьшает выходную скорость и компактный в размере. Необходим в проекте для движения. Можно приобрести на AliExpress.

Круговой светодиод *NeoPixel WS2812 RGB 24* – это светодиодная лента в форме круга для освещения пространства. В нашем случае используется для освещения трубы. Можно приобрести на AliExpress.

Драйвер моторов *MX 1508* – это небольшая плата для облегчения использования двухканального драйвера моторов. Можно приобрести на AliExpress.

Корпус радиатора Raspberry Pi 4 – это мощный мини компьютер. Из-за быстрого нагрева необходим корпус радиатора. Можно приобрести на AliExpress.

XL4016 понижающий DC-DC преобразователь 5-40В в 1.2-35В (до 9А) – это понижающий преобразователь. У него широкий диапазон входного напряжения, встроена защита и высокий выходной ток. Можно приобрести на AliExpress.

16-канальный 12-битный модуль PCA9685PW PWM – используется в проекте для расширения PWM портов, чтобы управлять 6-ю моторами. Добавляет 16 дополнительных PWM портов. Использует интерфейс I2C. Можно приобрести на AliExpress

Глава 3 Программа

Программа сегментации изображения написана на языке Python с использованием библиотеки OpenCV и NumPy (см. Приложение А.1). Данная программа позволяет в автоматическом режиме визуально находить дефекты поверхности труб. Веб-ресурс написан на Flask (см. Приложение А.2) – фреймворк для создания веб-приложений на языке программирования Python, использующий набор инструментов Werkzeug, а также шаблонизатор Jinja2. На веб-ресурсе происходит отрисовка дефектов. Пользователь записывает данные на веб-ресурс. Перед запуском робота оператор прописывает: куда роботу ехать, сколько ехать, полностью его перемещение, после чего отправляет робота. Робот едет по заданному маршруту, после чего возвращается в точку старта, во время работы робот непрерывно сканирует трубу, сохраняет все обнаруженные дефекты в базу данных. После завершения обследования, оператор может достать фотографии дефектов и места их расположения. В качестве аппаратного обеспечения программы сегментирования будет использоваться Мини ПК Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM.

Программа для управления робота написана на языке Python. 16-канальный 12-битный модуль PCA9685PW PWM – используется в проекте для расширения PWM портов, чтобы управлять 6-ю моторами.

Глава 4 Экономическая часть

Стоимость разработанного робота приведена ниже в таблице 4:

Таблица 4 – Стоимость робота «КРОТ»

№ П/П	ДЕТАЛЬ ИЛИ ВИД РАБОТ	СТОИМОСТЬ, РУБ.
1.	Разработка 3D корпуса (15 раб. дн.)	75 000
2.	Печать корпуса на 3D принтере	10 000
3.	Сервопривод MG996R Servo, 2 шт	940
4.	Мини ПК Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM	12 000
5.	16-канальный 12-битный модуль PCA9685PW PWM	196
6.	Мотор-редуктор Micro Metal, 4 шт.	12 000
7.	Широкоугольная камера для Raspberry Pi	3 500
8.	Разработка программного обеспечения	30 000
9.	Затраты на рекламу	15 000
	Итого:	158 636

При появлении мелкосерийного производства данную стоимость можно будет сократить на 30%.

Затраты на материалы подробно описаны в таблице 5:

Таблица 5 - Затраты на материалы

Деталь	Цена, руб.	Количество
Гильза от дымохода 250*200	1 000	1 шт
Пружины	2 334	6 шт
Алюминий 0.5*1200*3000	560	1 шт
Латунь 50*80	1 161	3 шт
Сталь	556	1 шт
Подшипник	9 384	24 шт
Втулки скольжения	1 140	6 шт
Кольцевой ремень gt2 280 мм	194	1 шт
Аккумулятор	436	2 шт
Шлейф для камеры	124	20 шт
Колёса	744	6 шт
Валы 74 мм	516	6 шт
Валы 37 мм	258	6 шт
Пластик Syntech	941	1 шт
Мотор-редуктор 5Pcs 50RPM N20 DC	728	2 шт
Круговой светодиод NeoPixel WS2812 RGB 24	218	1 шт
Драйвер моторов MX 1508	198	2 шт

Продолжение таблицы 5

Деталь	Цена, руб.	Количество
Камера rpi fish eye	2 396	1 шт
Корпус радиатора Raspberry Pi 4	870	2 шт
XL4016, понижающий DC-DC преобразователь 5-40D В 1.2-35 В(до 9 А)	388	1 шт
Итого:	24 146	

Затраты на ресурсы прописаны в таблице 6:

Таблица 6 - Затраты на ресурсы

Ресурс	Стоимость ресурса	Источник
Открытие ИП	- руб.	Банк
Аренда помещения	70 тыс.руб.в месяц	Аренда недвижимости
Оборудование на 1 работа	24 146 тыс.руб. в месяц	Магазины комплектующих товаров, производство
Сборщик	95 тыс.руб. в месяц	Биржа труда, онлайн площадки
Программист	95 тыс.руб. в месяц	Биржа труда, онлайн площадки
3D-модельеры	190 тыс.руб. в месяц	Биржа труда, онлайн площадки
Маркетолог	95 тыс.руб. в месяц	Биржа труда, онлайн площадки

СОЦИАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ИННОВАЦИЯ:

СЛОГАН: «По трубе нужен точный расчет? КРОТ проведет его без хлопот!»

Идея этого проекта очень важна, так как она может помочь сразу большому количеству человек. Особенно людям, которые сталкиваются с необходимой проверкой повреждений трубопровода.

Проверка внутреннего состояния трубопроводов – это важный аспект обеспечения безопасности и эффективности работы во множестве отраслей промышленности. Вот некоторые из них:

1. Нефтегазовая промышленность:

- Магистральные нефте- и газопроводы: Транспортировка сырья на большие расстояния требует особого внимания к состоянию труб, чтобы избежать утечек и аварий.
- Трубопроводы на нефтеперерабатывающих заводах и газоперерабатывающих комплексах: Здесь транспортируются легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества, поэтому контроль состояния трубопроводов жизненно важен.

2. Химическая промышленность:

- Трубопроводы для транспортировки агрессивных химических веществ: Коррозия или повреждения могут привести к утечкам опасных веществ, наносящих вред здоровью людей и окружающей среде.

3. Энергетика:

- Тепловые сети: Транспортировка горячей воды и пара под высоким давлением требует регулярной проверки состояния трубопроводов для предотвращения аварий.
- Атомные электростанции: Контроль состояния трубопроводов на АЭС критически важен для обеспечения безопасности и предотвращения радиационных аварий.

4. Пищевая промышленность:

- Трубопроводы для транспортировки пищевых продуктов: Необходимо обеспечить чистоту и герметичность трубопроводов, чтобы избежать бактериального заражения продуктов.

5. Водоснабжение и водоотведение:

- Водопроводные сети: Регулярная проверка позволяет выявить утечки, коррозию и другие повреждения, что обеспечивает безопасность питьевой воды.
- Канализационные сети: Контроль состояния трубопроводов помогает предотвратить прорывы и загрязнение окружающей среды.

Периодичность очистки и проверки определяется индивидуально для каждого трубопровода в зависимости от особенностей его эксплуатации и свойств перекачиваемого продукта, но не реже одного раза в квартал. При снижении пропускной способности трубопровода до 5% необходимо проводить внеочередную проверку и очистку.

Данная идея будет интересна крупным производителям в нефтегазовой, химической и пищевой промышленности, а так же в сферах обслуживания нашей повседневной жизни: энергетике, водоснабжению и водоотведению.

Потребители – это представители критических производств, которым приходится проверять большое количество трубопровода для выявления дефектов. Проанализировав рынок, выявлено, что не существует робота, который мог бы проверять трубы любого диаметра, быть легким на подъём, с хорошей дальностью связи и низкой ценой. Поэтому и по сей день приходится выполнять практически ручную столь нелёгкий труд, что затрачивает большое количество драгоценного времени или может привести к экологической проблеме.

Заказчики – это крупные компании критических производств, с большим использованием трубопроводов в своей работе.

Управлять роботом можно с помощью пульта или программы на смартфоне.

Структура затрат: персонал, создание образцов (материал), время (тестирование моделей), маркетинг.

Ключевые ресурсы: материал, производство.

Доход: может поступать от патента идеи; компаний проводящих техническое освидетельствование трубопроводов, компаний участников производств: нефтегазовой, химической, некоторых видов пищевой и энергетической промышленности, а также ресурсоснабжающие организации.

Концепция создания компании представлена в таблице 7:

Таблица 7 – Концепция создания компании

Шаги	Время
Поиск инвестиций – размещение проекта на площадке для Стартапов.	3 месяца
Набор команды специалистов.	2 недели
Создание различных образцов, тестирование моделей.	3 месяца
Реклама моделей	С момента создания первых образцов и т.д.
Заключение договоров с компаниями	С момента заключения первого договора и т.д.

Глава 5 Эксперимент

На первоначальной стадии разработки был сконструирован робот в виде механизированной тележки (см. рис. 3.1). Основной задачей первого этапа была отладка программного обеспечения по сегментации изображения. Экспериментальная установка для проверки концепции дистанционного управления была сделана в начале мая внутри трубы отладка программного обеспечения. Эмпирическим путем было выявлено, что данный способ управления является нецелесообразным из-за гипотезы о том, что металлические конструкции экранирует радиоволны, которая подтвердилась. Основная часть платформы сделана на 3D-принтере.

Была сделана экспериментальная установка 2 в конце мая – начале июня, для проверки пружинного натяжения, с ее помощью была создана правильная система натяжения, разработано правильное плечо

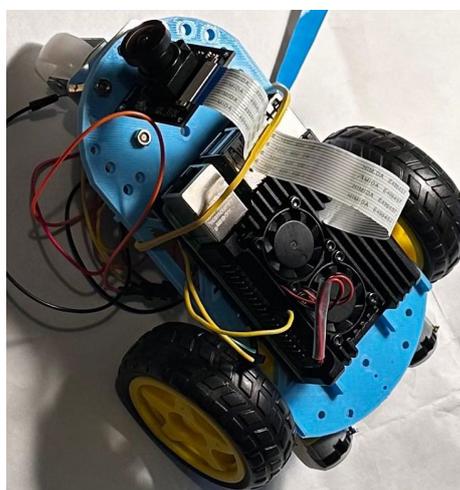


Рисунок 3.1 – Робот в виде механизированной тележки

На втором этапе разработан герметичный корпус (см. рис. 3.2) для размещения внутри него всего оборудования.

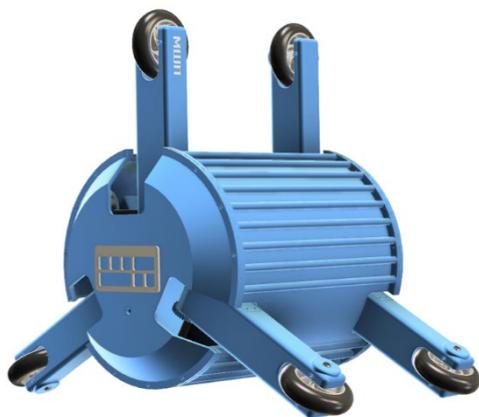


Рисунок 3.2 – Робот «КРОТ»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация проекта «Комплекс роботизированного обследования труб – КРОТ» позволит повысить безопасность и эффективность эксплуатации трубопроводных систем на НХК, снизить риски аварий и разливов опасных веществ, а также снизить величину экологического ущерба, травм на производстве, оптимизировать затраты на ремонт и обслуживание трубопроводов.

Комплекс «КРОТ» обладает повышенной безопасностью, способен выполнять обследования в опасных, труднодоступных или ограниченных пространствах, исключая риски для жизни и здоровья людей. Имеет расширенные возможности, которые позволяют производить детальное обследование. Система обладает повышенной точностью. Робот способен обследовать трубы гораздо быстрее, чем люди, снижая трудозатраты и оптимизируя расходы на проведение работ. Система является универсальной, так как подходит для обследования труб различного назначения, в разных отраслях промышленности.

Данный комплекс – это уникальная разработка, сочетающая в себе передовые технологии робототехники. Он является актуальным и перспективным решением, направленным на внедрение инноваций в сферу обследования трубопроводов.

Проект имеет высокую социальную и экономическую значимость и соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники в Российской Федерации.

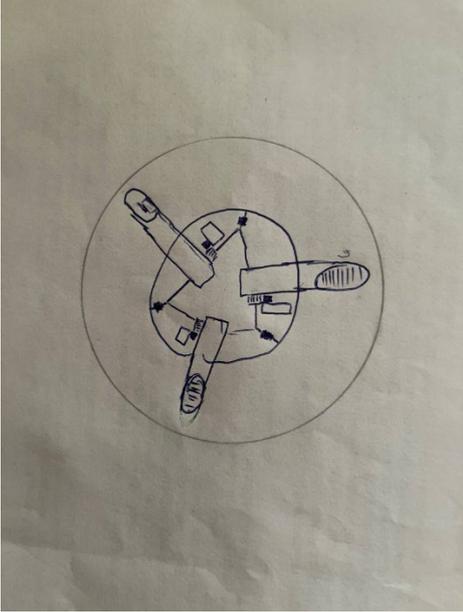
1 Развитие проекта

В дальнейшем планируется разработка корпуса из химически стойких материалов. Дополнительно КРОТ будет оснащен ультразвуковым датчиком для проверки сварных соединений, также расширение возможностей комплекса «КРОТ» для обследования трубопроводов других отраслей промышленности, разработка новых методов и алгоритмов обработки данных для повышения точности и информативности обследования. Планируется создание автоматизированной системы поддержки принятия решений по ремонту, реконструкции или замене трубопроводов.

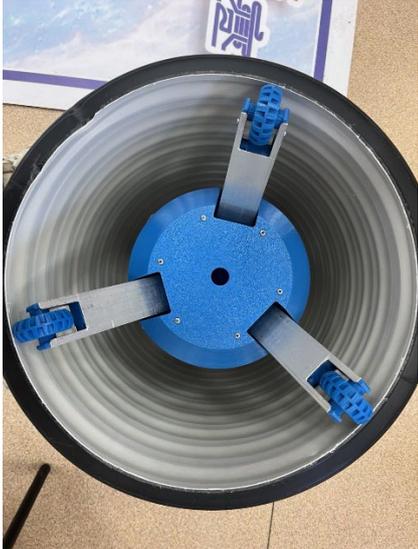
В будущем наше комплексное решение предполагает создание роя роботов, а также добавление в комплекс квадрокоптеров и робособаки для более эффективной и качественной работы.

Одним из направлений совершенствования работа в будущем является модульность. Мы сможем присоединять различные модули, такие как: магнитно-вихретоковое обследование, гидродинамическая очистка трубопроводов, нанесение покрытия внутри трубы, шлифовка-полировка, фрезерование.

Таблица 8 - График выполнения работ над проектом

Месяц	Эскиз	Описание выполненных и планируемых работ по проекту
Апрель 2024 г.		<p>Поиск идеи и аналогов. Анализ аналогов. Разработка концепции проекта. Анализ концепции. Подбор компонентов и комплектующих. Создание первого прототипа. Анализ прототипа. Создание экспериментальной установки для проверки движения в трубе. Экспериментальный робот для проверки концепции дистанционного управления в трубе для отладки программного обеспечения по сегментации изображения.</p> <p>Разработка пояснительной записки. Анализ рынка, анализ аналогов, проведение маркетингового исследования. Разработка рекламы. Создание презентации.</p>
Май 2024 г.		<p>Участие в олимпиаде и получение рекомендации от судей.</p> <p>Продолжение разработки робота. Добавление новых комплектующих. Создание второго прототипа. Анализ прототипа.</p> <p>Экспериментальная установка 2 для проверки пружинного натяжения, с ее помощью была создана правильная система натяжения, разработано правильное плечо. Создание графической документации по проекту. Подсчет экономики.</p>
Июнь 2024 г.		<p>Продолжение разработки робота, добавление новых комплектующих, внедрение важных изменений после анализа прототипов и разбора ошибок. Разработка 3 прототипа. Проведение анализа текущего прототипа, выступление на олимпиаде. Завершение написания</p>

Продолжение таблицы 8

Месяц	Эскиз	Описание выполненных и планируемых работ по проекту
		<p>пояснительной записки.</p> <p>Планирование разработки дополнительных модулей</p>
Июль 2024 г.		<p>Планирование работ по созданию магнитных колес. Создание дополнительных модулей для робота. Создание новых способов дефектоскопии. Создание компании. Набор специалистов.</p>
Август 2024 г.		<p>Поиск инвесторов и спонсоров. Заключение договоров с компаниями. Разработка роя роботов. Создание квадрокоптеров и Робособаки.</p>

2 Итоги

«КРОТ» может составить конкуренцию существующим роботам на рынке России и зарубежных стран по нескольким позициям:

- Низкая цена;
- Ремонтпригодность;
- Открытый программы код;
- Гарантийное обслуживание 5 лет;
- Бесплатное программное обеспечение и регулярное обновление программного обеспечения.

3 Список литературы

1. Ноф, Ш. Справочник по промышленной робототехнике / Ш. Ноф. – М. : Машиностроение, 1989. – 960 с.
2. Шулган, К. Автономия. Как появился автомобиль без водителя и что это значит для нашего будущего / К. Шулган, Л. Бернс. – Москва : Бомбора, 2021. – 400 с.
3. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. – 302 с.

4 Источники информации

1. diakont.ru : сайт. – URL: https://www.diakont.ru/services/robotic_diagnostic_systems/ (дата обращения: 11.05.2024)
2. ndt-solutions.by : сайт. – URL: https://ndt-solutions.by/product/PA_flaw_detectors/Inspection_robots_and_scanners/versatrax/ (дата обращения: 14.06.2024)
3. nova.78 : сайт. – URL: <https://nova78.ru/ispolzovaniya-robototekhniki-dlya-kontrolya-tehnologicheskikh-truboprovodov> (дата обращения: 08.06.2024)
4. pstu.ru : сайт. – URL: <https://pstu.ru/news/2023/10/20/14587/> (дата обращения: 13.04.2024)
5. robotrends.ru : сайт. – URL: <https://robotrends.ru/robopedia/kraulery-polzayushie-roboty> (дата обращения: 07.05.2024)
6. tubot.pro : сайт. – URL: <https://tubot.pro/> (дата обращения: 01.06.2024)
7. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr_oborudovaniya_vtdlchmg-2016.pdf; (дата обращения: 11.05.2024)
8. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: <https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr-vtd-tt-ks-2017.pdf>; (дата обращения: 11.05.2024)
9. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: <https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr-nsd-2017.pdf>; (дата обращения: 13.05.2024)
10. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/trebovaniya_k_otsenke_gotovnosti_podryadnykh_organizatsij.pdf (дата обращения: 13.05.2024)
11. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr_diagnosticheskikh_organizatsij-lchmg.pdf (дата обращения: 19.04.2024)
12. vniigaz.gazprom.ru : сайт. – URL: https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr_diagnosticheskikh_organizatsij-lchmg.pdf (дата обращения: 16.05.2024)

A.1 Приложение "Программа управления движением робота"

```
from time import sleep

# -----

i2c_address = 0x40 # This is the default I2C address for the PCA9685.
i2c_port_num = 1 # The I2C port is 0 for the Raspberry Pi 1 and 1 for all future models.
frequency = 60 # 60Hz is good for motor.
channel = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] # This is the channels number that the motor is connected to (0 - 15)

# -----

1 usage
class PCA9685:
    from smbus import SMBus

    _MODE1 = 0x00
    _LED0_ON_L = 0x06
    _LED0_ON_H = 0x07
    _LED0_OFF_L = 0x08
    _LED0_OFF_H = 0x09
    _ALL_LED_ON_L = 0xFA
    _ALL_LED_ON_H = 0xFB
    _ALL_LED_OFF_L = 0xFC
    _ALL_LED_OFF_H = 0xFD
    _PRE_SCALE = 0xFE

    def __init__(self, i2c_address=0x40, bus_num=1) -> None:
        """
        :param int i2c_address: The I2C address of the PCA9685 (default is 0x40). :param int bus_num: The SMBus
        instance of the I2C port (0, for the the Raspberry Pi 1, and 1, for all future models). :return None
        """
        if bus_num != 0 and bus_num != 1:
            raise ValueError("The I2C port must be 0 or 1.")
```

```
self._i2c_address = i2c_address
self._bus = self.SMBus(bus_num)
self._frequency = 0

self._write_byte(self._MODE1, value=0x00)

# Sets the on and off positions of all channels to 0: (there may be a better way to do this using some
# inbuilt function of the PCA9685 - you'd have to check the data sheet)
self._write_byte(self._ALL_LED_ON_L, value=0)
self._write_byte(self._ALL_LED_ON_H, value=0)
self._write_byte(self._ALL_LED_OFF_L, value=0)
self._write_byte(self._ALL_LED_OFF_H, value=0)

1 usage
def set_frequency(self, frequency: int) -> None:
    """
    Sets the frequency of all channels.
    :param int frequency: The frequency in Hz (24 - 1526).
    :return None
    """
    if not 24 <= frequency <= 1526:
        raise ValueError("Frequency is out of range.")

    prescale_value = round(
        25000000.0 / (4096.0 * frequency) - 1.0) # this equation is found in the data sheet page 25

    current_mode = self._read_byte(self._MODE1)
    if current_mode is None: # means there was an IOError when reading
        return

    new_mode = (current_mode & 0x7F) | 0x10
    self._write_byte(self._MODE1, new_mode)
    self._write_byte(self._PRE_SCALE, prescale_value)
    self._write_byte(self._MODE1, current_mode)
```

```

self.sleep(0.0005) # delay 500 microseconds
self._write_byte(self._MODE1, current_mode | 0x80)

self._frequency = frequency

```

3 usages

```

def set_duty_cycle(self, channel_num: int, duty_cycle) -> None:
    """
    Sets the duty cycle of a specified channel.
    :param int channel_num: The specified channel number (0 - 15).
    :param duty_cycle: The duty cycle in % (0 - 100)
    :return None
    """
    off = round(duty_cycle * 4095.0 / 100.0) # maps 0-100 to 0-4095
    self._write_channel(channel_num, off)

```

1 usage

```

def set_pwm(self, channel_num: int, pulse_width) -> None:
    """
    Sets the pulse width of a specified channel.
    :param int channel_num: The specified channel number (0 - 15).
    :param pulse_width: The pulse width in microseconds.
    :return None
    """
    # 1 / frequency = seconds per cycle
    # * 1000000.0 = microseconds per cycle
    # / 4096.0 = microseconds per tick
    # pulse_width / microseconds per tick = off
    off = round(pulse_width / (1000000.0 / (self._frequency * 4096.0)))
    if off < 4096:
        self._write_channel(channel_num, off)

```

```

def _write_channel(self, channel_num: int, off: int) -> None:
    # if you want to write the starting "on" tick:
    # self._write_byte(self._LED0_ON_L + 4 * channel_num, on & 0xFF) # writes the lower 8 bits of on
    # self._write_byte(self._LED0_ON_H + 4 * channel_num, on >> 8) # writes the upper 4 bits of on

    # Each LED address is separated by 4 which is why we add a multiple of 4 to the LED0 address
    self._write_byte(self._LED0_OFF_L + 4 * channel_num, off & 0xFF) # writes the lower 8 bits of off
    self._write_byte(self._LED0_OFF_H + 4 * channel_num, off >> 8) # writes the upper 4 bits of off

```

1 usage

```

def _read_byte(self, location):
    try:
        return self._bus.read_byte_data(self._i2c_address, location)
    except IOError:
        print(f"IOError when reading from the bus at {hex(self._i2c_address)}.")
        return None

```

11 usages

```

def _write_byte(self, location, value):
    try:
        self._bus.write_byte_data(self._i2c_address, location, value)
    except IOError:
        print(f"IOError when writing to the bus at {hex(self._i2c_address)}.")

```

A.2 Приложение "Программа сегментации изображения"

```
<!doctype html>
<html lang="en">
<head>
  <!-- Required meta tags -->
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">

  <!-- Bootstrap CSS -->
  <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.1.3/css/bootstrap.min.css"
        integrity="sha384-MCw98/SFnGE8fJT3GXwEOngsV7Zt27NXFoaoApmYm81iuXoPkFOJwJ8ERdknLPM0" crossorigin="anonymous">

  <title>Live Streaming Demonstration</title>
</head>
<body>
<div class="container">
  <div class="row">
    <div class="col-lg-8 offset-lg-2">
      
    </div>
  </div>
</div>
</body>
</html>
```

```
import numpy as np
from flask import Flask, render_template, Response
import cv2

app = Flask(__name__)

camera = cv2.VideoCapture(1) # use 0 for web camera

usage
def gen_frames(): # generate frame by frame from camera
    while True:
        # Capture frame-by-frame
        success, image = camera.read() # read the camera frame
        if not success:
            break
        else:
            img = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            img = cv2.resize(img, dsize=(256, 256))
            gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
            _, thresh = cv2.threshold(gray, np.mean(gray), maxval=255, cv2.THRESH_BINARY_INV)
            #thresh = cv2.erode(thresh, None, iterations=5)
            edges = cv2.dilate(cv2.Canny(thresh, 0, 255), kernel=None)
            cnt = sorted(cv2.findContours(edges, cv2.RETR_LIST, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)[-2], key=cv2.contourArea)[-1]
            mask = np.zeros(shape=(256, 256), np.uint8)
            masked = cv2.drawContours(mask, contours=[cnt], -1, color=(255, -1))
            dst = cv2.bitwise_and(img, img, mask=cv2.bitwise_not(mask))
            segmented = cv2.cvtColor(dst, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            ret, buffer = cv2.imencode(ext='.jpg', segmented)
            frame = buffer.tobytes()
            yield (b'--frame\r\n'
                   b'Content-Type: image/jpeg\r\n\r\n' + frame + b'\r\n') # concat frame one by one and show result
```

```
@app.route('/video_feed')
def video_feed():
    #Video streaming route. Put this in the src attribute of an img tag
    return Response(gen_frames(), mimetype='multipart/x-mixed-replace; boundary=frame')

@app.route('/')
def index():
    """Video streaming home page."""
    return render_template('index.html')

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

А.3 Приложение «Отладка компьютерного зрения»

```
import os
import cv2
import numpy as np

#####
# --- Variables ---
#####
IMAGE_SIZE = (500, 500)

# -- Threshold Details --
# *THRESHOLD_VALUE need to INCREASED if no contour detected,
# *if there're INACCURATE CONTOUR NUMBERS the value need to DECREASED
THRESHOLD_VALUE = 198 #110
MAX_VALUE = 255

# -- Invert Threshold Details --
INV_THRESHOLD_VALUE = 50
INV_MAX_VALUE = 255

# -- Canny Details --
THRESHOLD1 = 100
THRESHOLD2 = 70

# --contour properties--
CON_COLOR = (0, 0, 255)
CON_THICKNESS = 1

# -- Image Stack properties--
WHITE = (255, 255, 255)
BLACK = (0, 0, 0)
GREEN = (0, 255, 0)
RED = (0, 0, 255)
STACK_IMG_SIZE = (200, 200)
```

```

while True:
    files = os.listdir('images')
    print("=====")
    print("=         Available Images         =")
    print("=====")
    for i in files:
        print('-> {} \t '.format(i), end='')
        if files.index(i) % 3 == 0 and files.index(i) != 0:
            print('\n')
    print("\n=====")

    # need to select image name with the extension (ex: img1.jpeg)
    file = input("Select a file from the directory(q-quit): ").strip()

    # quit program
    if file == 'q' or file == 'Q':
        break

    PATH = 'images/' + file
    # Image Path
    imageOri = cv2.imread(PATH)

    try:
        # converts to grayscale
        image = cv2.cvtColor(imageOri, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    except:
        print("Invalid Input! Please select correct file(ex: 'imgSample.jpg')")
    else:
        # resize image
        image = cv2.resize(image, IMAGE_SIZE)
        imageOri = cv2.resize(imageOri, IMAGE_SIZE)
        image = cv2.GaussianBlur(image, ksize=(3, 3), sigmaX=0)

```

```

# Threshold the image so that your black markings are black on a white background.
ret, thresh_basic = cv2.threshold(image, THRESHOLD_VALUE, MAX_VALUE, cv2.THRESH_BINARY)

# show thresholded image - DEBUGGING
# cv2.imshow("Thresh basic", thresh_basic)
# cv2.imshow("Original image", imageOri)
# cv2.waitKey(0)

#thresh_addapt = cv2.adaptiveThreshold(image, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C, cv2.THRESH_BINARY, 115, 1)
#cv2.imshow("Thresh Adapt", thresh_addapt)

# Taking a matrix of size 5 as the kernel
kernel = np.ones(shape=(5, 5), np.uint8)

# Morphological operations-Erodes away the boundaries of foreground object
# Use morphology to clean up extraneous markings.
#img_erosion = cv2.erode(thresh_basic, kernel, iterations=1)
img_dilation = cv2.dilate(thresh_basic, kernel, iterations=2)

#####
# The invert the thresholded image,
# so that the black markings are white on a black background and then find the external contours of those.
ret, thresh_inv = cv2.threshold(img_dilation, INV_THRESHOLD_VALUE, INV_MAX_VALUE, cv2.THRESH_BINARY_INV)
# show inverted threshold image - DEBUGGING
cv2.imshow(winname="INV", thresh_inv)

#####

# Find Canny edges
edged = cv2.Canny(img_dilation, THRESHOLD1, THRESHOLD2)
# show canny edges - DEBUGGING
# cv2.imshow('Canny', edged)
# cv2.waitKey(0)

```

```

# Find Contours
# FindContours alters the image
contours, hierarchy = cv2.findContours(thresh_inv, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_NONE)

# ++++++
# -- Image Stack --
# ++++++
Font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

imageRz = cv2.resize(image, STACK_IMG_SIZE)
thresh_basicRz = cv2.resize(thresh_basic, STACK_IMG_SIZE)
img_dilationRz = cv2.resize(img_dilation, STACK_IMG_SIZE)
thresh_invRz = cv2.resize(thresh_inv, STACK_IMG_SIZE)
edgedRz = cv2.resize(edged, STACK_IMG_SIZE)

imageRz = cv2.putText(imageRz, text: 'GrayScale', org: (5, 15), font, fontScale: 0.5, WHITE, thickness: 1, cv2.LINE_AA)
thresh_basicRz = cv2.putText(thresh_basicRz, text: 'ThresholdBasic', org: (5, 15), font,
                             fontScale: 0.5, WHITE, thickness: 1, cv2.LINE_AA)
img_dilationRz = cv2.putText(img_dilationRz, text: 'Morphology-Dilation', org: (5, 15), font,
                             fontScale: 0.5, WHITE, thickness: 1, cv2.LINE_AA)
thresh_invRz = cv2.putText(thresh_invRz, text: 'Threshold-mode INV', org: (5, 15), font,
                           fontScale: 0.5, BLACK, thickness: 1, cv2.LINE_AA)
edgedRz = cv2.putText(edgedRz, text: 'Canny Edges', org: (5, 15), font, fontScale: 0.5, WHITE, thickness: 1, cv2.LINE_AA)

numpy_horizontal_concat = np.concatenate( arrays: (imageRz, thresh_basicRz, img_dilationRz,
                                                thresh_invRz, edgedRz), axis=1)

cv2.imshow( winname: 'Filtering...', numpy_horizontal_concat)

# ++++++

```

```

# get total contours
num_of_con = str(len(contours) - 1)
print("Number of Contours found = " + num_of_con)
if len(contours) > 1:
    print('=====')
    print('= MARKINGS DETECTED =')
    print('=====')

# show original img
cv2.imshow( winname: 'Original Image', imageOri)
# draw contours on original img
if int(num_of_con) != 0:
    for i in range(int(num_of_con)):
        highlighted_img = cv2.drawContours(imageOri, contours, i, CON_COLOR, CON_THICKNESS)

        highlighted_img = cv2.putText(highlighted_img, 'Approximately {} defect(s) detected'.
                                      format(num_of_con), org: (5, 15),
                                      font, fontScale: 0.5, GREEN, thickness: 1, cv2.LINE_AA)
    else:
        highlighted_img = cv2.putText(imageOri, text: 'Unable to detect defects!',
                                      org: (5, 15), font, fontScale: 0.5, RED, thickness: 2, cv2.LINE_AA)

# show markings highlighted img
cv2.imshow( winname: 'Highlighted Defect', highlighted_img)
# save image containing highlighted defect
cv2.imwrite('Output Images/{}_DEFECTS_HIGHLIGHTED.jpg'.format(file.split('.')[0]), highlighted_img)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

```