

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Робототехнічна система інспекції трубопроводів

Назва теми

КвРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-20-1

  
Підпис

Андрій МАРМІЙ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 14 » 06 2024 р.

Хмельницький 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

*В. Марченко*

«10» 01 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мармій Андрій Юрійович

1 Тема роботи: Робототехнічна система інспекції трубопроводів

керівник роботи Корецька Л.О., к.т.н, доцент

Затверджено наказом по університету від «15» 02 2024р. № 8 .

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.24

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.

Особливості використання роботизованого обладнання для інспекції

трубопроводів. Розробка робототехнічної системи інспекції трубопроводів.

Моделювання робототехнічної системи інспекції трубопроводів. Висновки.

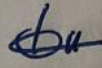
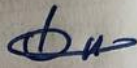
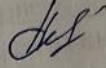
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційні слайди

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

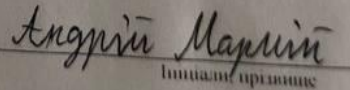
7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

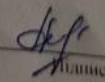
№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Особливості використання роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів	15.03.2024р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2024р.	Виконано
4	Моделювання робототехнічної системи інспекції трубопроводів	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2024р.	Виконано

Студент

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Робототехнічна система інспекції трубопроводів».

Автор роботи: Мармій А.Ю.

Керівник роботи: Корецька Л.О.

Пояснювальна записка: 70 с., 49 рис., 13 табл., 2 дод., 42 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів

РОБОТ, ІНСПЕКЦІЯ, ТРУБОПРОВІД, ДЕФЕКТИ ТА ПОШКОДЖЕННЯ ТРУБ, СТАЛІВІ ГАЗОПРОВІДИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИК, SIMULINK, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА, КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ

Метою роботи є розробка конструкції робототехнічної системи, основне призначення якої полягає у інспекції трубопроводів на предмет виявлення пошкоджень та дефектів. В роботі запропоновано конструкцію робототехнічної системи, основне призначення якої полягає в інспекції та неруйнівному контролі сталевих газопроводів низького тиску. Перевірено прохідність такої роботу в трубах різного діаметру та при зменшенні діаметру труб і зміні повороту труби. Змодельовано принцип передачі даних від робота до керуючої програми та оператор робототехнічної системи. Встановлено, що для інспекції газопроводів низького тиску протягом 5 років в Хмельницькій області необхідно використати 6 таких роботів.

14.06.24

дата

  
Підпис

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ .....	6
1.1 Аналіз сфери застосування роботизованого обладнання інспекції трубопроводів .....	6
1.2 Огляд існуючих конструкцій роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів .....	15
1.3 Висновки до першого розділу .....	22
2 РОЗРОБКА РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ .....	23
2.1 Опис роботизованої системи типу PIRATE для інспекції трубопроводів ...	23
2.2 Розробка моделі робототехнічної системи інспекції трубопроводів.....	25
2.2.1 Конструктивні елементи PIRATE-робота.....	25
2.2.2 Протокол керування PIRATE-роботом .....	27
2.2.3 Контролери.....	28
2.2.4 Конфігурація модулів.....	31
2.2.5 Графічний інтерфейс керування PIRATE-роботом .....	34
2.2.8 Альтернативна конструкція PIRATE-робота.....	35
2.3 Розробка каналу зв'язку для моделі робототехнічної системи інспекції трубопроводів .....	36
2.3.1 Передача даних через шину .....	36
2.3.2 Бездротова передача даних.....	41
2.4 Висновки до другого розділу .....	47

<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>				
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата
Виконав		Мармій А.Ю.	<i>[Signature]</i>	19.06.24
Перевір.		Корещька Л.О.	<i>[Signature]</i>	11.06.24
Н.контр.		Корещька Л.О.	<i>[Signature]</i>	11.06.24
Затвер.		Мартинюк В.	<i>[Signature]</i>	11.06.24
Робототехнічна система інспекції трубопроводів, Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		У	2	70
ХНУ гр. АКІТ-20-1				

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІНСПЕКЦІЇ	
ТРУБОПРОВОДІВ .....	48
3.1 Моделювання прохідності робототехнічної системи інспекції	
трубопроводів .....	48
3.2 Апаратна частина керування робототехнічною системою інспекції	
трубопроводів .....	56
3.3 Налаштування експлуатаційних характеристик робототехнічної системи	
інспекції трубопроводів .....	59
3.4 Налаштування каналу зв'язку робототехнічної системи інспекції	
трубопроводів .....	61
3.5 Висновки до третього розділу .....	64
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	71

## ВСТУП

У використанні спеціалізованого роботизованого обладнання спостерігається тенденція до зростання його частки при виконанні спеціалізованих задач. Однією із таких спеціалізованих задач є інспекція трубопроводів на предмет виявлення в них дефектів та пошкоджень з метою подальшого проведення ремонтних робіт на конкретній ділянці, а не повній заміні трубопроводу.

Використання роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів та передача даних від таких робіт можлива як по дротовому, так і бездротовому зв'язку. В роботі розглядається можливість створення каналу передачі даних, при якому дані від такого спеціалізованого роботизованого обладнання будуть передаватись швидко, безпечно, точно, а сам канал буде недорогим як у розробці, так і при експлуатації.

Законодавством України передбачено регулярне проведення технічного обстеження трубопровідних мереж та комунікацій, які визначені відповідними нормами [13-16]. Такі інспекції можуть використовуватись відповідним роботизованим обладнанням та безпілотними апаратами.

Основною проблемою при проведенні інспекції газопроводів низького та середнього тиску є малий діаметр труб, який лежить в межах від 56 до 100 мм для газопроводів низького тиску, та 100-200 мм для газопроводів середнього тиску. До роботизованого обладнання для інспекції таких трубопроводів основною вимогою висувається невеликий розмір робототехнічної системи. Якщо для водопроводів та каналізації існує роботизоване обладнання відповідних розмірів, то для газопроводів такого обладнання на ринку майже немає.

Передбачена конструкція робота повинна відповідати ряду вимог. Основною вимогою є невеликі габаритні розміри робототехнічної системи. Окрім невеликих розмірів така робототехнічна система повинна мати високий рівень

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

прохідності, змінювати свої параметри габаритів при зміні діаметру труби, наприклад, зменшенню діаметру труби з 100 мм до 56 мм.

Оскільки в газопроводах труби виконуються зі сталі, то висуваються достатньо високі вимоги до передачі даних від робота до оператора, який проводить інспекцію. Слід також враховувати, що сигнал повинен бути потужний, оскільки у випадку з газопроводами допускається не лише наземне та надземне прокладання труб, але й підземне прокладання.

Метою роботи є розробка конструкції робототехнічної системи, основне призначення якої полягає у інспекції трубопроводів на предмет виявлення пошкоджень та дефектів.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ

1.1 Аналіз сфери застосовування роботизованого обладнання інспекції трубопроводів

Інженерне забезпечення населених пунктів представляє собою один із найважливіших компонентів комплексного підходу до вирішення санітарно-гігієнічних, соціально-економічних, транспортних, архітектурно-будівельних та екологічних завдань в сучасних підходах до забудови та функціонування населених пунктів [40].

До складу систем життєзабезпечення населених пунктів входять наступні інженерні мережі:

1. Водопровідні мережі;
2. Каналізаційні мережі;
3. Теплові мережі;
4. Мережі газопостачання;
5. Електричні мережі.

Система водопостачання призначена для видобутку води із джерел водопостачання, після чого проводиться покращення її якості, транспортування, зберігання та подальший розподіл водоспоживачам [15].

Система водовідведення або система каналізації представляє собою комплекс інженерних споруд та мереж для збору, подальшого очищення стічних вод, переробки осадів із стічних вод та подальшого відведення у водні об'єкти вод, які пройшли очистку [16].

Система тепlopостачання – це сукупність джерел теплової енергії, магістральних та розподільних теплових мереж, призначені для доставки теплоносія трубопроводами із його подальшим використанням у внутрішній системі опалення будівель [14].

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



В інженерних мережах можуть використовуватись різні види труб за матеріалом. В таблиці 1.1 наведено порівняльні характеристики трубопроводів, які використовуються для облаштування магістральних мереж.

Сталеві труби бувають безшовні та зварні (рис. 1.2, а). Такі труби достатньо міцні, не забруднюють носій (воду, газ, тощо), допускаються до прокладання мереж під автомагістралями, залізницями та у районах із підвищеною сейсмічною активністю [37].



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.2 – Види трубопроводів за матеріалом, які використовуються для магістральних мереж:

а – сталеві; б – чавунні; в – залізобетонні; г – азбестоцементні

Сталеві труби використовуються в мережах водопостачання, тепlopостачання, водовідведення та газопостачання. Однак основною мережею

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.

8

використання є все ж таки система газопостачання. В системі водовідведення такий матеріал труб використовується рідко, оскільки можна обрати більш дешевий варіант, а саме залізобетонні труби. Оскільки газ як носій є небезпечною речовиною, а сталь має якісні технічні та експлуатаційні характеристики, то прийнято газопроводи виконувати саме зі сталевих труб.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики трубопроводів за матеріалом

Характеристика	Азбестоцемент або залізобетон	Сталь	Чавун
Шорсткість внутрішньої поверхні	Підвищена (збільшується гідравлічний опір труби)	Підлягають заростанню продуктами корозії	Висока
Можливість виникнення корозії	Підлягає	Підлягає	Слабко підлягає
Стійкість до хімічних сполук	Нестійка до впливу солей, лугів, кислот	Стійка	Нестійка до впливу органічних кислот
Рівень морозостійкості	До -50°C	-	До -60°C
Строк служби	Невеликий	15-25 років	Не менше 80 років
Робоча температура	До +50°C	-	До +50°C

Чавунні трубопроводи (рис. 1.2, б) ще більш довговічні ніж сталеві, оскільки мають більшу товщину стінки. Основним недоліком чавунних труб є значна вага матеріалу, а також його вартість та крихкість [37]. Такі трубопроводи

використовуються в основному в системах, де є підвищені вимоги до незмінності якості носія в системі та підвищені температури носія. Тому в основному їх використовують в системах водопостачання та теплопостачання. В системах газопостачання чавунні труби не використовуються, оскільки чавуну характерний високий показник крихкості та легке утворення мікротріщин, через які газ може просочуватись та створювати умови підвищеної вибухопожежонебезпечності.

Залізобетонні (рис. 1.2, в) та азбестоцементні (рис. 1.2, г) труби використовуються в системах, де не ставляться високих вимог до якості носія всередині труб. Тому основним призначенням таких труб є системи водовідведення [16], оскільки в таких трубах силою потоку може вимиватись власне матеріал, з якого виготовлена труба. Тому такі трубопроводи заборонено використовувати в системах газо- та теплопостачання [13, 14], в системах водопостачання допускається лише при транспортуванні води до етапу її очистки [15].

Узагальнена класифікація трубопроводів наведена на рис. 1.3.

При тривалій експлуатації трубопроводів в них може виникнути ряд дефектів та пошкоджень. Дефекти, які можуть утворитися, поділяють на 5 великих класів [26]:

- дефекти геометрії труби;
- дефекти стінки труби;
- дефекти зварного шва;
- комбіновані дефекти;
- наявність неприпустимих конструктивних елементів.

До дефектів геометрії труби відносяться:

- вм'ятина (рис. 1.4, а) – локальне зменшення прохідного перетину труби внаслідок впливу механічної дії (злам осі не відбувається);
- гофр (рис. 1.4, б) – це стан труби, при якому поперечні опуклості та угнутості чергуються, при цьому відбувається злам осі із подальшим зменшенням прохідного перетину;

– овальність (рис. 1.4, в) – перетин труби має відхилення від округлості, при якому найменший та найбільший діаметр знаходяться в перпендикулярних напрямках [26].



Рисунок 1.3 – Класифікація трубопроводів

До дефекту стінки труби відносяться:

- втрата металу – стан, при якому змінюється номінальна товщини стінки труби;
- подряпина – стан, при якому метал стінки труби не є суцільним;
- розшарування в навколишній зоні;
- розшарування з виходом на поверхню;
- тріщина – вузький розрив металу стінки труби.

Основні види пошкодження труб наведені у табл. 1.2.

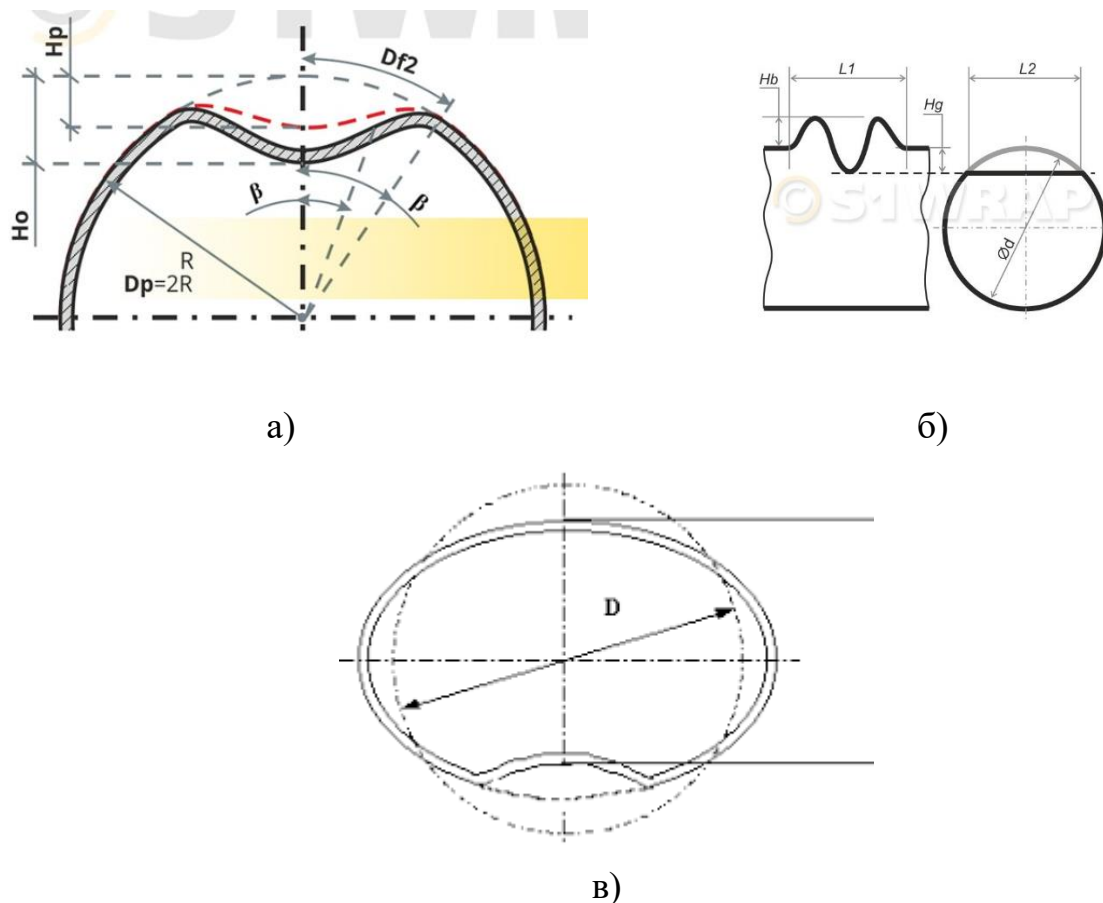


Рисунок 1.4 – Види дефектів геометрії трубопроводів:

а – вм’ятина; б – гофр; в – овальність

Для виявлення дефектів та недоліків в трубопроводах незалежно від матеріалу та призначення трубопроводів використовуються руйнівні та неруйнівні методи контролю. При неруйнівному контролі (НК) відбувається контроль властивостей та параметрів трубопроводу, при якому не відбувається його руйнування, а сам трубопровод залишається придатним до експлуатації. Такі методи контролю є більш ефективними та економічними [10]. Класифікація пасивних та активних НК методів наведена на рис. 1.5. та 1.6.

Найбільш поширеним та найпростішим методом НК є візуальний огляд внутрішніх стінок трубопроводу. Для цього використовується спеціальне обладнання для моніторингу недоліків. Такий контроль, у порівнянні із ультразвуковим, є порівняно недорогим.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
12

Таблиця 1.2 – Види пошкоджень трубопроводів [23]

№	Схема	Причина
1		Розвиток поздовжніх тріщин
2		Утворення поздовжніх тріщин
3		Тріщини технологічного характеру
4		Поперечні тріщини
5		Поздовжні тріщини в місцях з'єднання
6		Активна корозія

Продовження таблиці 1.2

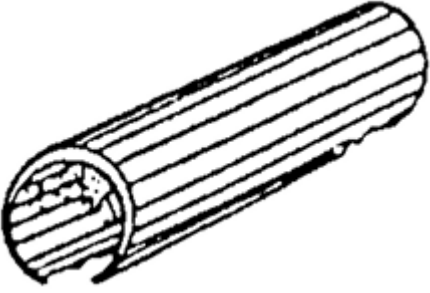
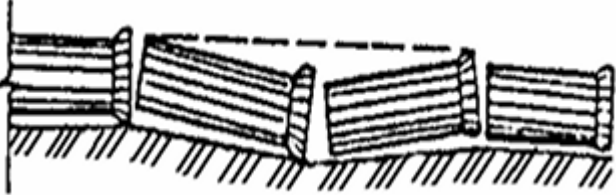
7		Стирання трубопроводу
8		Осідання труб



Рисунок 1.5 – Класифікація пасивних методів НК



Рисунок 1.6 – Класифікація активних методів НК

## 1.2 Огляд існуючих конструкцій роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів

Одним із перспективних методів НК для інспекції трубопроводів та виявлення дефектів і пошкоджень є використання роботизованого обладнання. За статистичними даними [8] спостерігається зростання використання роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів з метою виявлення їх пошкоджень та дефектів. Ця тенденція зображена на рис. 1.7.

Запропонована конструкція робота Pipeline Explorer [8] зображена на рис. 1.8. Такий сервісний робот базується на дистанційному керуванні і живиться від акумуляторів. Принцип інспекції базується на візуальному неруйнівному контролі трубопроводів, а основне призначення – для труб із чавуну та сталі. Оператор може керувати таким роботом за допомогою бездротового каналу зв'язку в режимі реального часу.

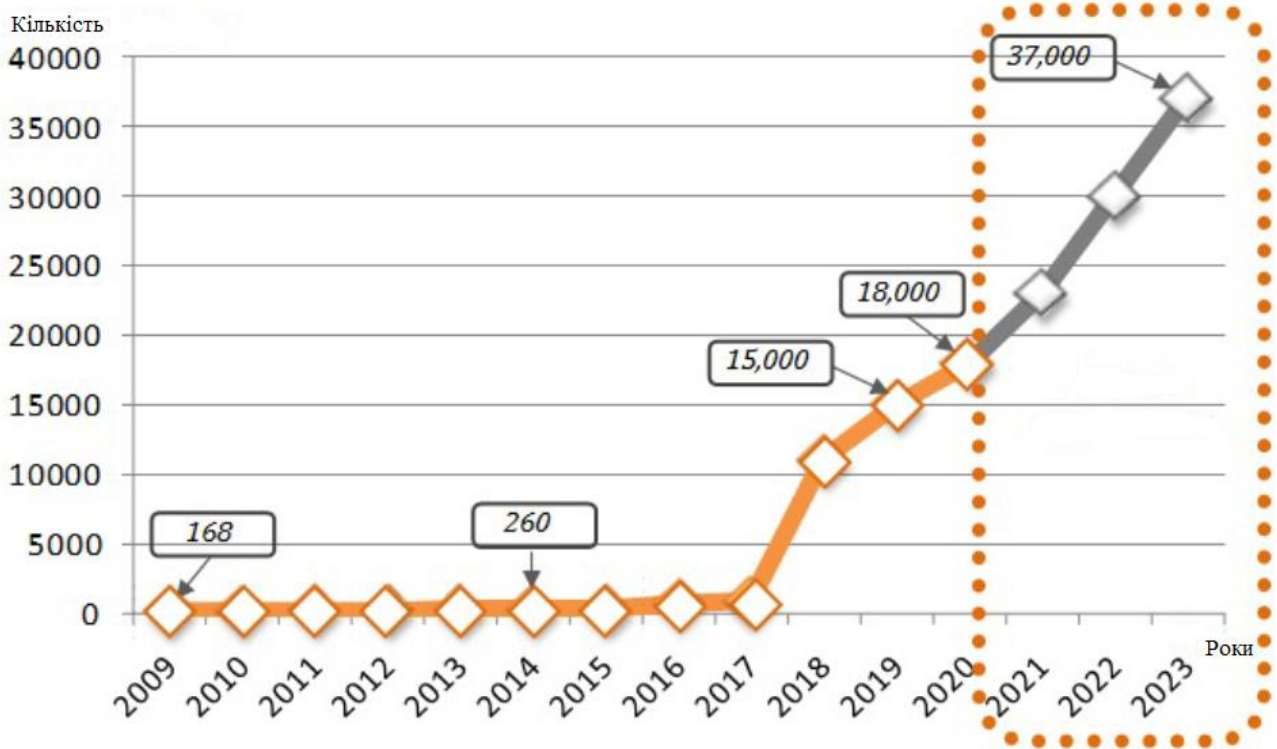
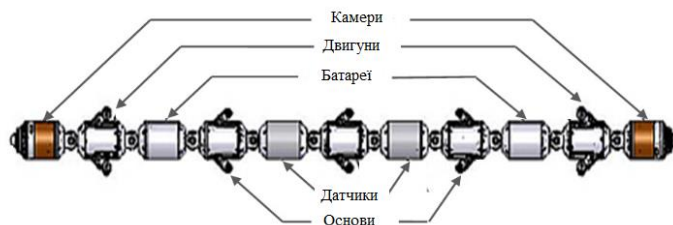


Рисунок 1.7 -Тенденція запровадження роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів



а)

б)

Рисунок 1.8 – Робот Pipeline Explorer:

а – конструкція, б – зовнішній вигляд

В сегментах корпусу такого роботу розміщуються акумулятори для живлення роботизованого обладнання, а також він має дві симетрично розміщені голови з камерами для проведення візуального НК та два роз'єми для підключення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

елементів керування. В конструкції передбачається можливість установки додаткових датчиків та камер для пошуку конкретних дефектів трубопроводів.

Наступна конструкція робота для візуального контролю наведена на рис. 1.9. В цьому роботизованому обладнанні міститься колісний візок, герметичні відеокамери для визначення напрямку руху та обстеження внутрішньої поверхні, привід повороту відеокамери, блок живлення, обладнання для освітлення, датчики газу. Керування роботом передбачено через відповідний джойстик. Географічні координати розташування робота можна розпізнати завдяки планшету або модуля GPS [34].

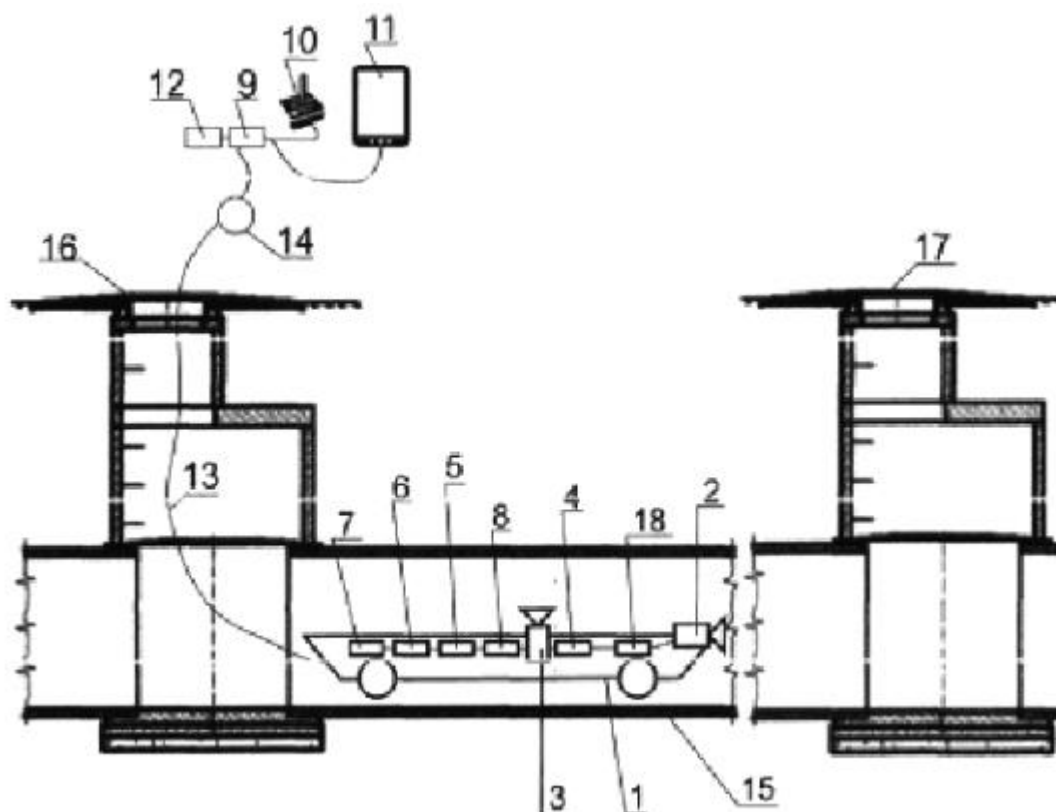


Рисунок 1.9 – Схема роботи для інспекції трубопроводів за патентом UA116009

Слід враховувати, що не всі трубопроводи розташовуються в горизонтальній площині. Тому для вертикально розміщених трубопроводів використовуються спеціальні роботи для інспекції, наприклад, TriTrax Crawler (рис. 1.10).

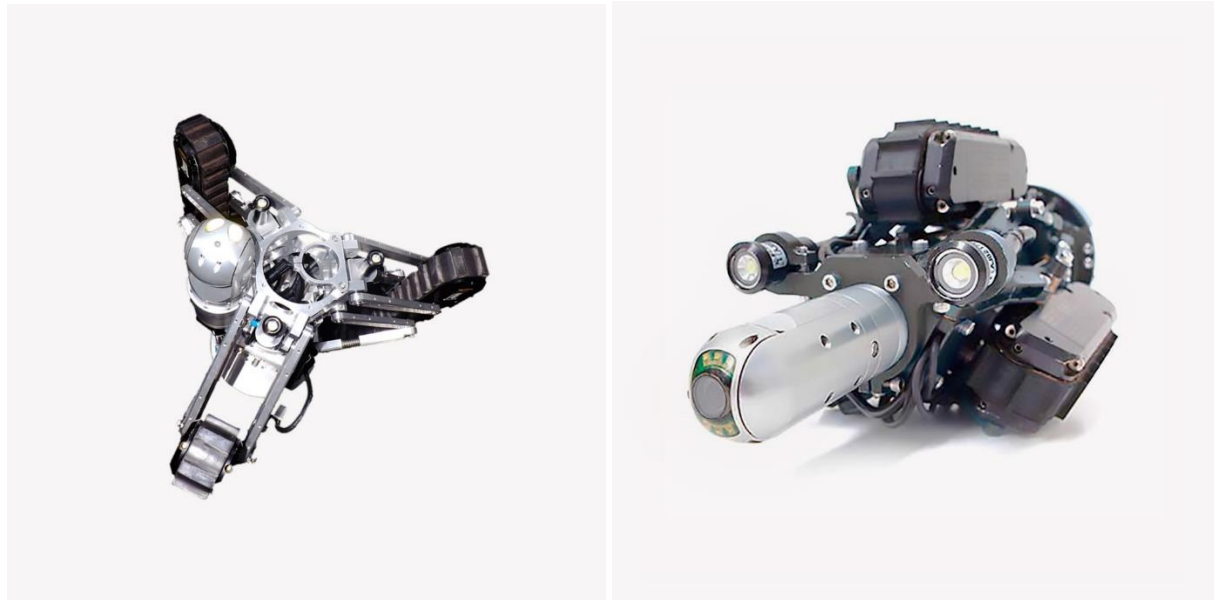


Рисунок 1.10 - TriTrax Crawler

Це роботизоване обладнання для НК трубопроводів базується на русі на гусеницях. За один прохід він може подолати близько кілометра всередині труби без додаткової зарядки. Конструкція передбачає використання трьох гусениць, тому він може рухатись у вертикальному напрямку або всередині трубопроводів, які мають різкі вигини [9].

Відеопотік із наднизькою затримкою передається оператору, а камера має підвищену міцність, тобто такою робота можна використовувати в трубопроводах із жорсткими умовами середовища. Використовує програмне забезпечення Eddyfi Technologies ICON. Технічні характеристики двох моделей TriTrax Crawler наведені в таблиці 1.3.

Одним із видів обладнання для проведення ультразвукового НК є сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT (рис. 1.11). Він призначений для автоматизованого контролю зварних з'єднань за умови товщини зварюваних деталей від 4 до 40 мм, а радіус кривизни зовнішньої поверхні повинен становити не менше 300 мм. Основною сферою застосування сканеру є експлуатаційний та виробничий контроль трубопроводів [36].

Акустичний контакт в сканері забезпечується завдяки автоматичному поданні рідини для контакту із баку, що дає змогу контролювати зварні шви із

розмірами не менше 10 погонних метрів. Сканер влаштовується на поверхні труби шляхом ввімкнення та вимкнення магнітного вимикача. Технічні характеристики наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики TriTraх Crawler

Характеристика	ТТ380	ТТ200
Максимальна швидкість	6,4 м/хв	3,6 м/хв
Діапазон розкриття труб	380-915 мм	200-400 мм
Вага робота	46 кг	8,5 кг
Освітлення	3 світлодіодні лампи	2 світлодіодні лампи
Робоча температура	0-45 °С	0-45 °С
Оцінка глибини	60 м	60 м
Максимальна довжина тросу	1000 м	300 м



Рисунок 1.11 - Сканер-дефектоскоп А2051 SCAUT

Просторова прив'язка забезпечується завдяки системі позиціонування Galileo/GPS та тривимірного датчика кута нахилу. Оператор може відстежувати

процес проведення НК за допомогою Bluetooth гарнітури, а керування рухом сканера передбачено за допомогою відповідних кнопок на цій гарнітурі. Містить в своїй конструкції літій-ферум-полімерний акумулятор, завдяки якому можлива безперервна робота сканера протягом 4 годин. Тривалість зарядки акумулятора становить 15 хвилин.

У сканера передбачено декілька режимів роботи:

- ШОВ – для загальної оцінки стану зварного шва (ЗШ);
- КРОМКА – для загальної оцінки крайок зварного шва;
- АНАЛІЗ – детальне вивчення структури ЗШ, при цьому відображається інформація про кількість та характер зафіксованих дефектів.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики сканера-дефектоскопа A2051 SCAUT

Характеристика	Значення
Діапазон робочих температур	-30 ... +50 °C
Вага	10 кг
Розміри (ДхШхВ), мм	415 x 166 x 146
Час роботи на заряді	4 години
Тривалість зарядки	15 хвилин
Швидкість сканування	2 м/хв
Чутливість до дефектів ЗШ	Від 0,5 мм
Діапазон контрольованих товщин	4...40 мм
Точність вимірювання геометрії ЗШ	2 мм
Об'єм баку для контактної рідини	1 л

Модульна телеінспекційна система ROVION (рис. 1.12) від компанії iPEK (Німеччина) відноситься до систем, що проштовхуються. Камера в цій системі пов'язується із операторським пультом керування за допомогою напівжорсткого шлангу. Мінімальний діаметр трубопроводу для інспекції становить 25 мм. Довжина кабелю в такій системі становить від 100 до 500 метрів, що дещо

обмежує сферу використання. В своїй конструкції система має зонд 33 кГц / 512 Гц, який призначений для визначення точного місця розташування камери [19].



Рисунок 1.12 – Модульна телеінспекційна система ROVION

Інший варіант систем для телеінспекції від виробника іРЕК – це AGLIOS AR9011 та AR9011 (рис. 1.13). Ці моделі відрізняються між собою умовами використання.



Рисунок 1.13 - AGLIOS AR9011 та AR9011

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
21

Такі системи використовуються для відеодіагностики трубопроводів, діаметр яких становить від 50 до 300 мм. Максимальна довжина НК – 90 м. В своїй конструкції містять барабан, камеру, лічильник метрів та лазер для визначення розмірів дефектів та пошкоджень. Слід відзначити, що зображення на екрані відображається завжди у горизонтальному вигляді.

### 1.3 Висновки до першого розділу

В першому розділі було проведено аналіз сфери застосування роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів. В аналізі наведено сферу застосування та дефекти і пошкодження, які є об'єктами розпізнавання для зазначеного спеціалізованого обладнання. Також було проведено огляд існуючих конструкції роботизованого обладнання, яке використовується для неруйнівного контролю стану трубопроводів. Серед такого обладнання виділені моделі для вертикального бездротового обстеження, для обстеження трубопроводів малого діаметру (до 100 мм), а також дротові системи телеінспекції.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

## 2 РОЗРОБКА РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВODІВ

### 2.1 Опис роботизованої системи типу PIRATE для інспекції трубопроводів

В міському господарстві серед газових трубопроводів виділяють чотири основні види за тиском:

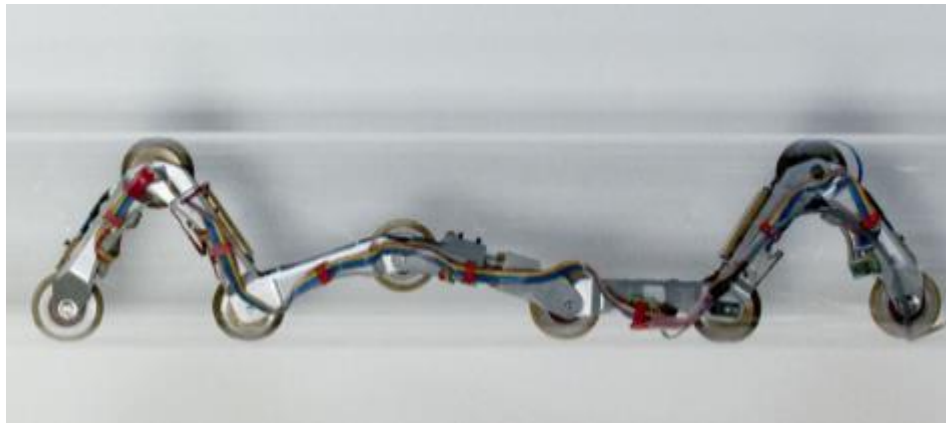
- високого тиску (I категорія) – від 0,6 до 1,2 МПа;
- високого тиску (II категорія) – від 0,3 до 0,6 МПа;
- середнього тиску – від 0,05 до 0,3 МПа;
- низького тиску – до 0,05 МПа [38].

Газопроводи високого тиску використовуються для постачання газу у виробничі будинки сільськогосподарських та промислових підприємств (I категорія), а також у котельні (II категорія). Газопроводи середнього тиску використовуються для подачі газу у приміщення підприємств торгівлі, громадського харчування, а низького тиску – для подачі газу у житлові будинки побутовим споживачам.

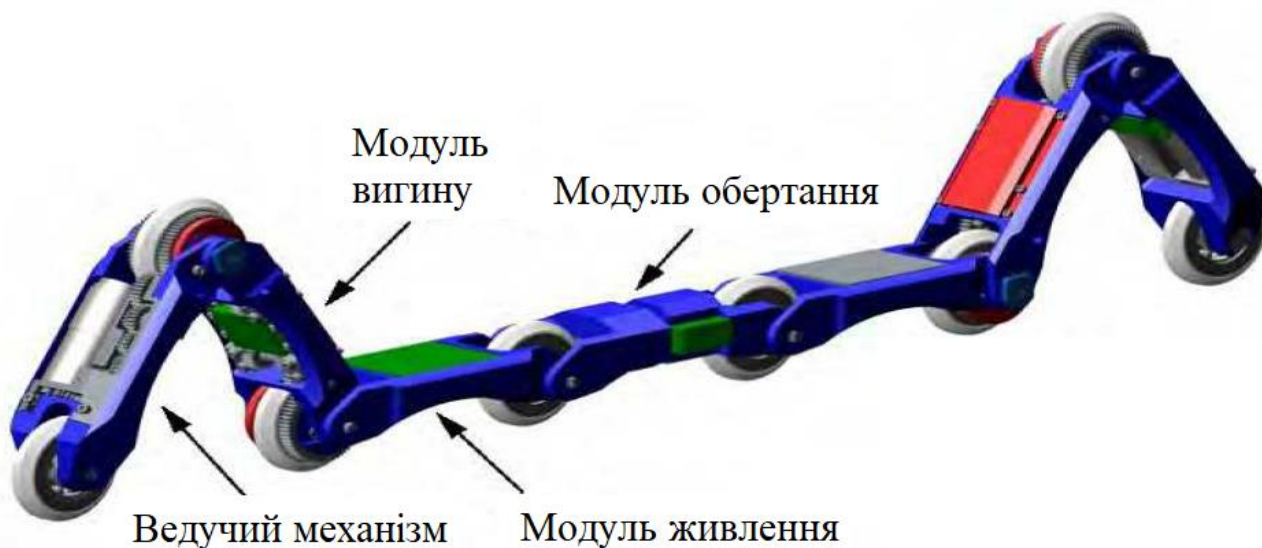
Серед перерахованих видів газопровідних мереж найбільшу протяжність має саме газопровідна мережа низького тиску, яка становить щонайменше 50% загальної протяжності газопроводу населеного пункту. Основною проблемою із інспекцією таких трубопроводів є малий діаметр труб, який становить в основному 50-100 мм [13].

Для інспекції газопровідних мереж стає неможливим використання будь-якого із розглянутих у розділі 1.2 роботизованого обладнання. Тому в роботі основна увага приділяється роботі конструкції типу PIRATE. Конструкція такого роботу (рис. 2.1) призначена в першу чергу для інспекції саме газопроводів. Основною відмінністю при інспекції газопроводів є малий діаметр труб, який деколи становить лише 50-65 мм.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23



а)



б)

Рисунок 2.1 – Робот типу PIRATE:

а – зовнішній вигляд; б – розташування модулів

PIRATE – це аббревіатура від англійського Pipe Inspection Robot for Autonomous Exploration, що перекладається як робот для проведення автономної інспекції трубопроводів [3]. Технічні характеристики такого роботу наведені у таблиці 2.1. Оскільки максимальний діаметр труби, в якому може використовуватись такий робот становить 125 мм, то його можна також використовувати для інспекції частки газопроводів середнього тиску, в яких діаметр труб починається від 100 мм.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
24

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики роботу типу PIRATE

Характеристика	Значення
Діаметр труби	63-125 мм
Можливий нахил труби	$\pm 30^\circ$
Значення різкого зміну діаметру, при якому зберігається можливість роботи	Від -10 до +5 мм
Кут нахилу труби	Від 0 до $45^\circ$

В своїй конструкції PIRATE-робот має 8 коліс, два з яких є ведучими колесами. Розташування роботу в трубі та його фіксація відбувається завдяки утворенні V-подібної форми за допомогою першого та останнього конструктивних модулів.

Основним призначенням PIRATE-роботу є перевірка газопроводу на наявність дефектів, деформацій та витоків. Завдяки модулю живлення робот працює в автономному режимі, а у випадку виявлення пошкоджень фіксує власне місцерозташування, яке відповідає місцю розташування пошкодження газопроводу.

## 2.2 Розробка моделі робототехнічної системи інспекції трубопроводів

### 2.2.1 Конструктивні елементи PIRATE-робота

Прототип містить в своїй конструкції 7 блоків, 7 з'єднань, 2 ведучі модулі, 2 модулі корисного навантаження, 2 модулі згину і 1 модуль обертання. Для позиціонування та руху роботу в загальному використовується 7 двигунів: 4 для керування кутовими шарнірами, 2 для ведучого модулю та 1 для шарніру, який відповідає за обертання.

Керування двигунами цих модулів виконується із 5 контролерів, а загальне керування – головним контролером. Цей контролер розміщується в модулі

корисного навантаження. Керування головним контролером передбачено через графічний інтерфейс користувача, який був розроблений в середовищі MATLAB [3].

Розпізнавання дефектів та пошкоджень газопроводів виконується системою технічного зору, яка здатна також виявляти перешкоди при проходженні порожнини труби (закупорки), з'єднання труб та її вигини.

Конструктивний дизайн PIRATE-роботу дозволяє пересуватися через перешкоди. При тестуванні прохідності прототипу роботу на поверхні він зміг подолати навіть такі перешкоди, як коріння дерев [3]. Схема подолання PIRATE-роботом перешкод наведена на рис. 2.2.

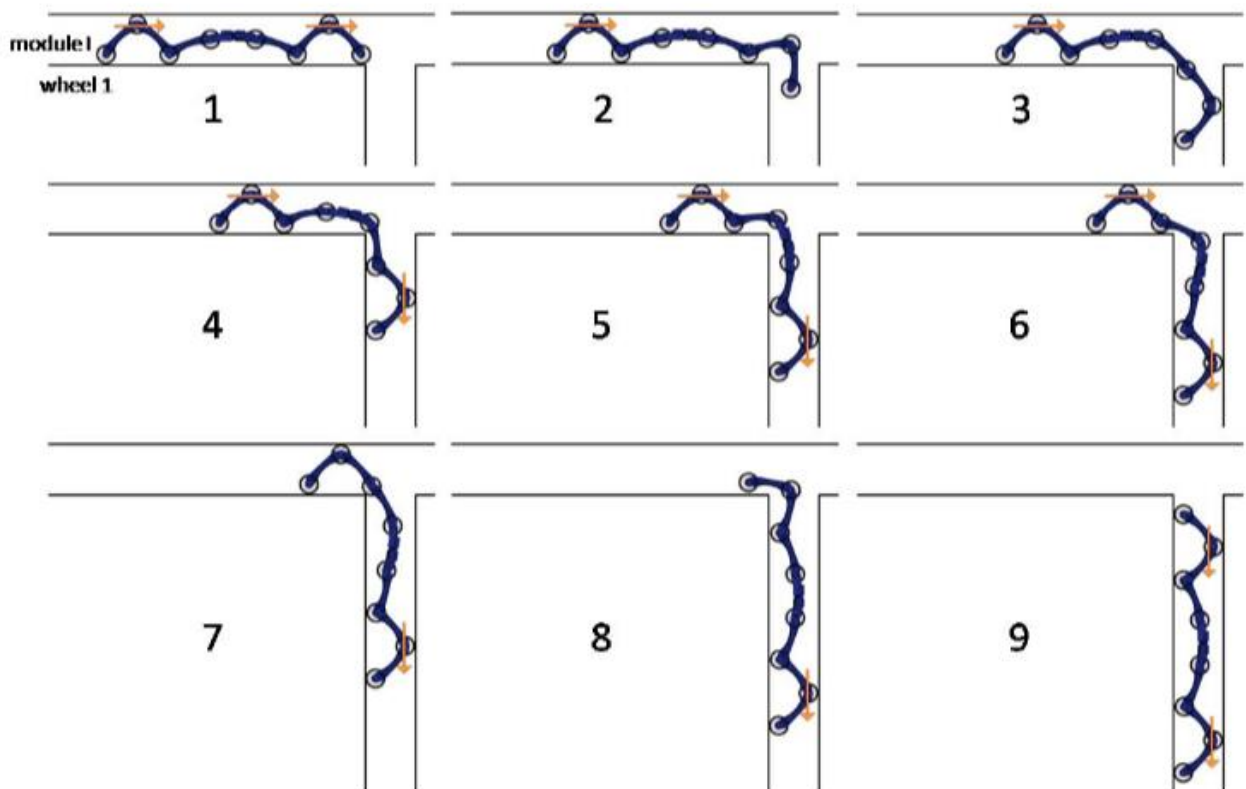


Рисунок 2.2 – Принцип подолання перешкод PIRATE-роботом

Пересування роботу забезпечується наявністю семи ступенів свободи (DOF), які зображені на рис. 2.3. Ці ступені свободи забезпечуються конструктивними вигинами робота, які умовно можна назвати суглобами. Окрім

шарніра обертання конструкція кожного із шарнірів має колесо. Нумерація цих коліс проводиться відповідно до нумерації модулів. Контролери двигунів прикріплені до модулів I, II, IV, VI та VII.

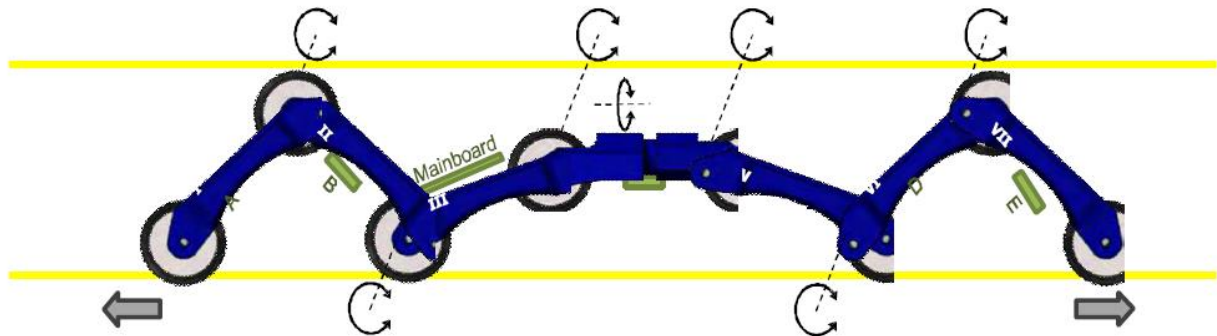


Рисунок 2.3 – Ступені свободи PIRATE-робота

Для керування PIRATE-роботом було прийнято рішення використовувати розподілене керування, оскільки робот містить окремі модулі та представляє собою модульну конструкцію. У порівнянні із керування роботом з одного контролера таке розподілене керування має ряд переваг. Наприклад, якщо використовувати лише один контролер, то він може не впоратись із всіма необхідними послідовностями керування та, відповідно, збору даних. Це пояснюється обмеженим простором, в якому буде експлуатуватися робот.

Крім того, PIRATE-робот повинен мати невеликі габаритні розміри, оскільки він призначений для використання в трубопроводах малого діаметру (від 65 до 125 мм). У випадку використання одного контролера конструкція робота може не мати достатньо місця для розташування в ньому всіх датчиків та двигунів.

### 2.2.2 Протокол керування PIRATE-роботом

Запропонована розподілена система керування містить 5 локальних контролерів невеликого розміру, які з'єднуються між собою шиною комунікації.

Основне призначення локальних контролерів полягає у керуванні двигунами, тому в конструкції цього робота вони отримали назву контролери двигунів.

Комунікаційний протокол для функціонування PIRATE-робота був обраний I<sup>2</sup>C. I<sup>2</sup>C – це послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем. Розробником цього протоколу є компанія Phillips. Такий протокол в основному використовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів материнською платою, мобільними телефонами та вбудованими системами [4].

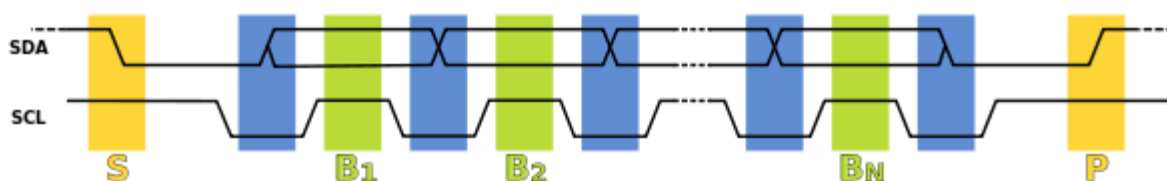


Рисунок 2.4 – Тактування послідовності передачі даних в протоколі I<sup>2</sup>C

Причиною вибору такого протоколу є невелика кількість приводів в PIRATE-роботі, простота реалізації та високий рівень масштабованості. Такий протокол добре себе зарекомендував у системах із великою кількістю модулів на шині (в звичайному діапазоні адрес до 128).

В протоколі I<sup>2</sup>C використовується два дроти – двонаправлена лінія даних та тактовий. Швидкість обміну даних може обмежуватись ємністю шини, яка, в свою чергу, залежить від довжини проводів.

В проекті PIRATE-роботу шина використовується в якості конфігурації одного ведучого двигуна із декількома підлеглими, при цьому головний контролер виступає в ролі ведучого двигуна, а контролери двигунів – в ролі підлеглих. Через шину на контролер двигунів від головного контролера можна направляти різні команди. На рис. 2.5 зображено принцип обробки команд від головного контролера контролерами двигунів.

### 2.2.3 Контролери

Основний контролер містить в своїй конструкції процесор ARM7, тривимірний датчик прискорення, який призначений для визначення орієнтації PIRATE-робота, датчик температури, слот для карти пам'яті та радіомодуль для зовнішнього бездротового зв'язку. Всі перераховані конструктивні елементи були інтегровані в основну плату PIRATE-робота, яка показана на рис. 2.6. Процесору ARM7 характерна швидкість обробки даних, яка становить до 130 млн оп/сек, і має 32-розрядне RISC ядро [2].

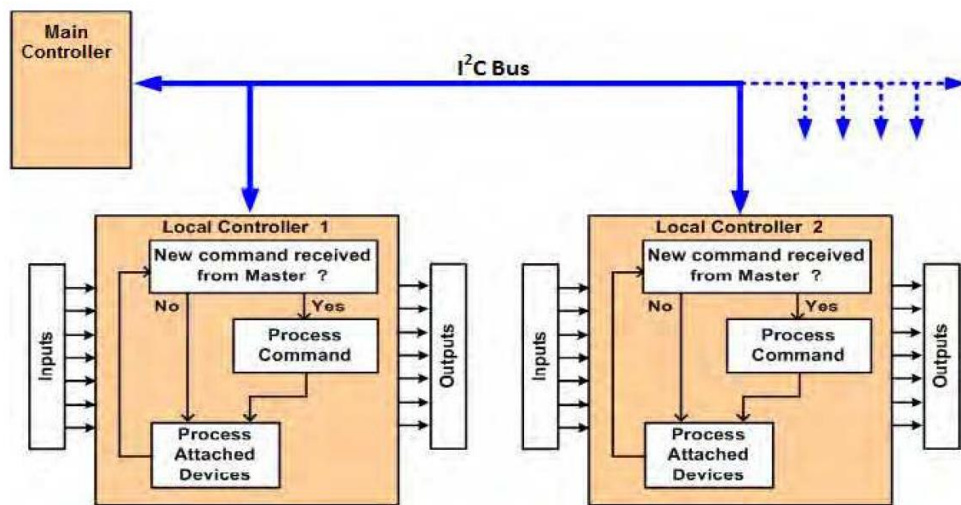


Рисунок 2.5 – З'єднання головних та локальних контролерів через шину I<sup>2</sup>C



а)



б)

Рисунок 2.6 – Основна плата PIRATE-робота:

а – вигляд зверху; б – вигляд знизу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

*КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ*

На основній платі в якості мікроконтролера у PIRATE-роботі було обрано LPC2148 від NXP. Завдяки своїм розмірам та низькому енергоспоживанню, такий мікроконтролер ідеально підходить для будь-якого приладу, в якому основна вимога висувається до габаритних розмірів. Цей прилад підходить для його використання в якості комунікаційного шлюзу в PIRATE-роботі, оскільки він містить вбудовану пам'ять SRAM об'ємом 32 кБ, а також USB 2.0 Full Speed, декілька SPI, SSP, UART, I<sup>2</sup>C.

Головний контролер можна використовувати не тільки в якості керуючого органу PIRATE-роботу, але й для вирішення інших завдань, наприклад для збору даних про дефекти та пошкодження трубопроводу. Лістинг коду керування контролером наведений у додатку Б.

PIRATE-робот має в своїй конструкції 7 модулів, п'ять з яких мають датчики та актуатори. Кожен модуль потребує використання локального контролера, який буде взаємодіяти з датчиками всередині модулю. На рис. 2.7 зображено плату контролера двигуна.

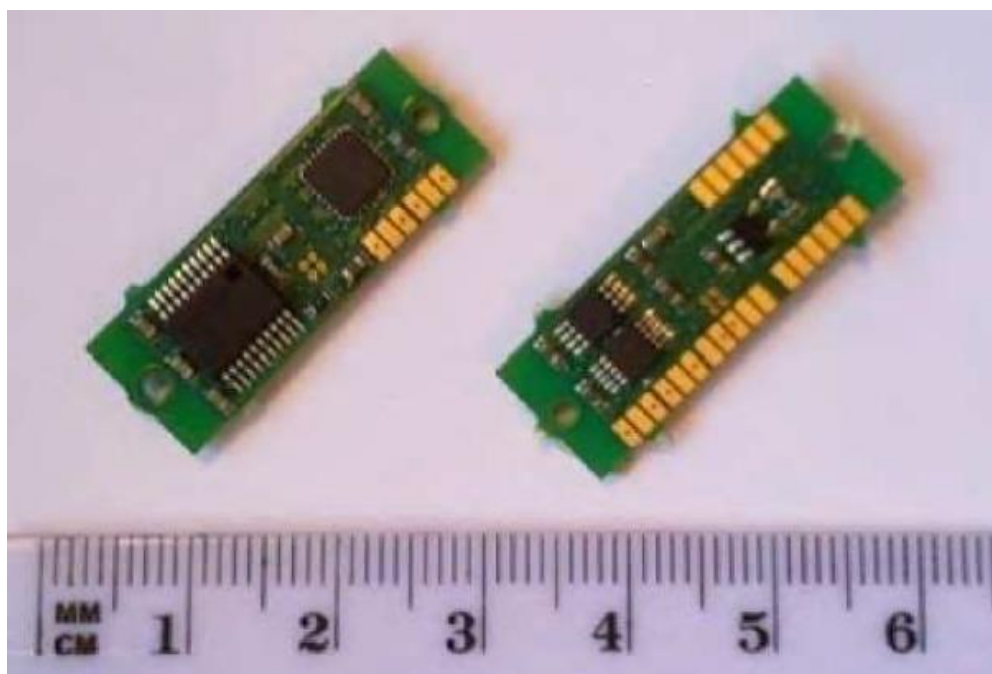


Рисунок 2.7 – Плата контролера двигуна

Оскільки розробка кожного окремого локального контролера буде трудомістким та дорогим процесом, в якості контролерів двигунів було обрано універсальний дизайн, який дозволяє розмістити одну і ту саму модель локального контролера в кожному активному модулі.

Контролер двигуна базується на мікроконтролері ATmega168 (рис. 2.8) із подвійним Н-мостом, який буде використовуватись для керування двома двигунами. Якщо подивитись на входи плати контролера, до неї можна підключити до чотирьох потенціометрів і 2 енкодери, які, в свою чергу, можна використовувати в якості вхідних сигналів для керування (рис. 2.9).

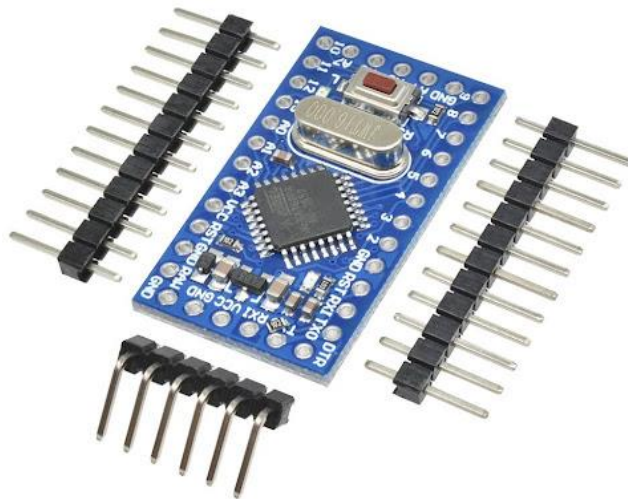


Рисунок 2.8 – Мікроконтролер ATmega168

#### 2.2.4 Конфігурація модулів

Для модулів приводу, вигину та обертання існує три основні конфігурації:

- модуль приводу містить 1 енкодер та 1 двигун;
- модуль вигину містить 4 потенціометри та 2 двигуни;
- модуль обертання містить 1 потенціометр, 1 енкодер та 1 двигун.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

*КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ*

Арк.

31

На робот встановлені два приводні модулі, один модуль обертання та два модулі вигину, тому загальна кількість двигунів у роботі становить сім штук. Кожен із двигунів має свою функцію, опис якої наведений у таблиці 2.2. Модуль вигину містить в своїй конструкції два двигуни, які підключаються до відповідного контролера двигуна і позначаються індексами 0 або 1.

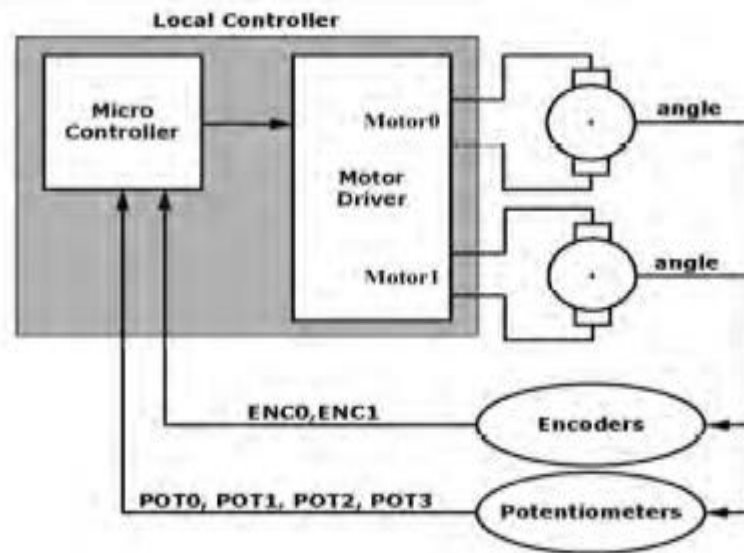


Рисунок 2.9 – Апаратне підключенні контролерів двигунів PIRATE-робота

Таблиця 2.2 – Функції наявних у конструкції робота двигунів

Контролер двигуна	Функція	Двигун
E69	Двигун	0
D68	Затискач для регулювання кута	1
	Затискач для регулювання кута	0
C67	Обертання	0
B66	Затискач для регулювання кута	1
	Затискач для регулювання кута	0
A65	Двигун	0

На кожному контролері двигуна одночасно може бути запущено два PID контури. Ці регулятори можуть працювати в режимі регулювання крутного моменту, швидкості або положення. Під кожен окремий режим керування в конструкції передбачено відповідний вхід.

З таблиці 2.3 видно, що, окрім режиму холостого ходу існує ще 8 режимів PID керування. В якості прикладу оберемо варіант, коли двигуном приводного модулю необхідно керувати в режимі регулювання швидкості. Керування швидкістю відповідає значення 2 і 4 (табл. 2.3). Вибір конкретного значення залежить від того, до якого порту підключений енкодер на двигуні.

Таблиця 2.3 – Режими керування двигуном

Шифр	Режим керування	Позначення
0	Холостий хід	Idle
1	Енкодер 0	Enc0
2		
3	Енкодер 1	Enc1
4		
5		Pot0
6	Обертання	Pot1
7		Pot2
8	Обертання	Pot3
9	Прямий хід	PWM

Керування прототипом PIRATE-робота передбачається через RS232 з'єднання між головним контролером та керуючою програмою. При відправці команд на головний контролер він функціонує в якості аналізатора командного рядка.

Отримані на головному контролері команди передаються на відповідні контролери двигунів. Такі команди завжди починаються із символу «!» або «?»,

який вказує, чи є команда операцією запису (знак оклику) або зчитування (знак питання). За цим знаком слідує буква, що вказує на виконувану функцію. За функцією слідує до трьох аргументів. Перший аргумент, наприклад, представляє собою адресу відповідного контролера двигуна.

В конструкції PIRATE-робота передбачається використання ряду датчиків. На передній та задній частині робототехнічної системи необхідно передбачити оптичні датчики для зчитування інформації про наявність перешкод в трубопроводах або про поворот труб. Для цього в системі передбачається використання оптичного датчику DAT233 (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Оптичний датчик DAT233

Окрім виявлення перешкод в трубопроводі, цей модуль можна використовувати в робототехнічній системі в якості високочастотного кінцевого оптичного датчика визначення положення [31]. Основна причина вибору саме цієї моделі полягає у компактності розмірів – ширина пазу датчика становить 6 мм.

### 2.2.5 Графічний інтерфейс керування PIRATE-роботом

Для спрощення керування PIRATE-роботом в інтерфейсі MATLAB GUI було розроблено графічний інтерфейс. Цей графічний інтерфейс дозволяє налаштовувати кожен суглоб робота окремо, встановлювати режими керування

контролерами двигунів, вимірювати значення АЦП двигунів та задавати уставки для ПІД-регуляторів.

Крім того, за допомогою такого інтерфейсу (рис. 2.11) можна виконувати реєстрацію даних. Ця функція надає користувачу можливість виконувати запис даних, які робот виконує під час руху. Основним недоліком цієї функції є те, що вона працює з низькою частотою оновлення, а саме 0,4 Гц.

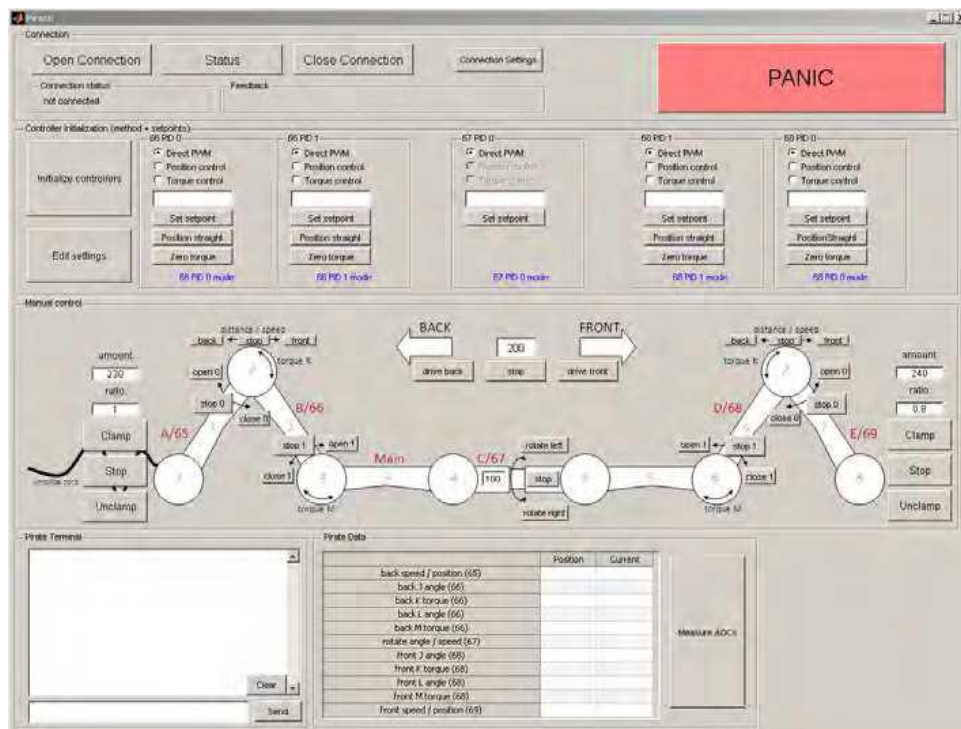


Рисунок 2.11 – Графічний інтерфейс керування PIRATE-роботом

## 2.2.8 Альтернативна конструкція PIRATE-робота

Якщо при експлуатації PIRATE-робота необхідно зменшити кількість ступенів свободи руху, для цього необхідно зняти один із модулів корисного навантаження. Для цього видаляється один із шарнірів. Зменшення DOF призводить до простішого маневрування.

Найпростіше видалити саме модуль корисного навантаження V, оскільки в самому прототипі він не використовується і має інше призначення. Його призначення полягало у розміщенні акумуляторів та електроніки для вимірювань,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
35

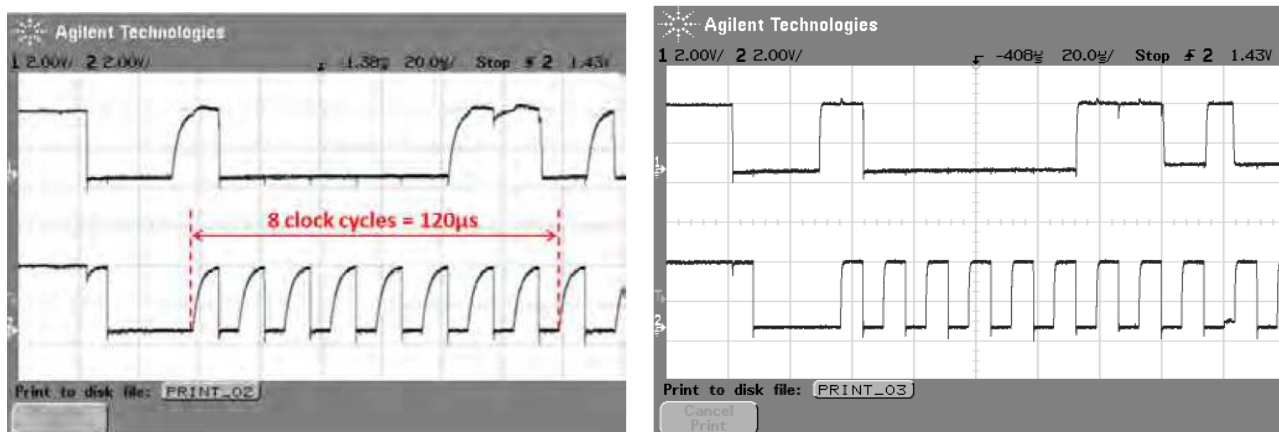


В PIRATE-роботі шина I<sup>2</sup>C буде використовуватись для збору даних з контролерів двигунів, які виступають в якості підлеглих контролерів. Для перевірки правильності обробки даних шиною була обрана максимально можлива швидкість передачі даних. Вона буде обмежуватись значенням 400 Кбіт/с, оскільки це максимальна швидкість для контролера ATmega 128.

Швидкість передачі даних можна перевіряти шляхом відстежування за допомогою осцилографа наступних параметрів:

- сигнал даних SDA та DDA;
- тактовий сигнал (SCL).

При перевірці (рис. 2.13) було встановлено, що шина не працює на бажаній частоті у 400 кГц, а тактовий сигнал працює на частоті 66,7 кГц.



а)

б)

Рисунок 2.13 – Частота роботи шини:

а – 4,7 кГц; б – 330 кГц

LPC2148 має дві шини (I2C0 та I2C1). В проекті каналу зв'язку PIRATE-робота буде використовуватись шина I2C0. Для вибору відповідної швидкості передачі даних в програмному забезпеченні необхідно встановити значення регістрів I2SCLL та I2SCLH. I2SCLL визначає кількість циклів для низького рівня тактового сигналу, а I2SCLH – кількість циклів для низького рівня сигналу часу. Значення цих параметрів не обов'язково повинне бути однаковими.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
37

Тактова частота передається шиною за допомогою SCL та SDA. Оскільки вони є відкритими, то пристрої I<sup>2</sup>C та I<sup>2</sup>C-майстер можуть замикати ці лінії на низький рівень або ж залишати їх відкритими. На рис. 2.14 показано роботу шини в IDLE стані.

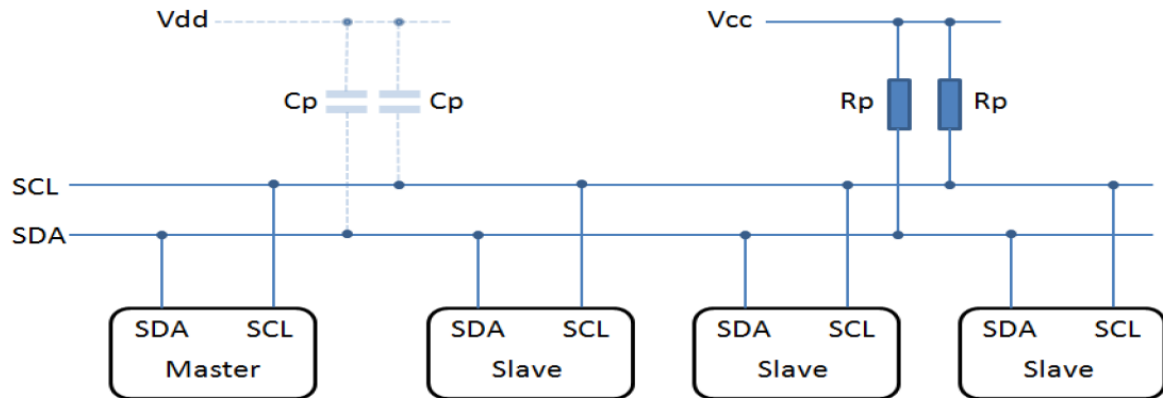


Рисунок 2.14 - Робота шини в IDLE стані

При зчитуванні даних з ведучого приводу, шина поміщає їх на лінію SDA, в той час як сам ведучий пристрій керує тактовим генератором. Мікропроцесор на підлеглому пристрої повинен виконати процедуру переривання зберегти робочі регістри, тощо. Ведучий пристрій надсилає тактові імпульси по лінії SCL.

На шині ведучим виступає головний контролер PIRATE-робота, то відповідно, операції запису або зчитування завжди ініціюються головним контролером. Зчитування даних з підлеглого контролера представляє собою більш складний процес.

Для виконання операції до відповідного підлеглому приладу спочатку відправляється запит на зчитування даних. Після цього по закінченню затримки у 200 мкс перевіряється, чи був підтверджений запит. Якщо підлеглий прилад підтвердив запит, від нього на головний контролер отримуються дані і операція завершується. Якщо ж підлеглий прилад не підтверджує запит, то зв'язок переривається по причині невдалої операції зчитування.

Серед такого підходу можна виділити декілька недоліків. По-перше, зменшення максимальної швидкості передачі даних в результаті затримки. По-друге, неможливість перевірки отриманих даних за допомогою бітів підтвердження. По-третє, мінімальна ймовірність успішного зчитування даних, оскільки підлеглий виконує одноразовий запит.

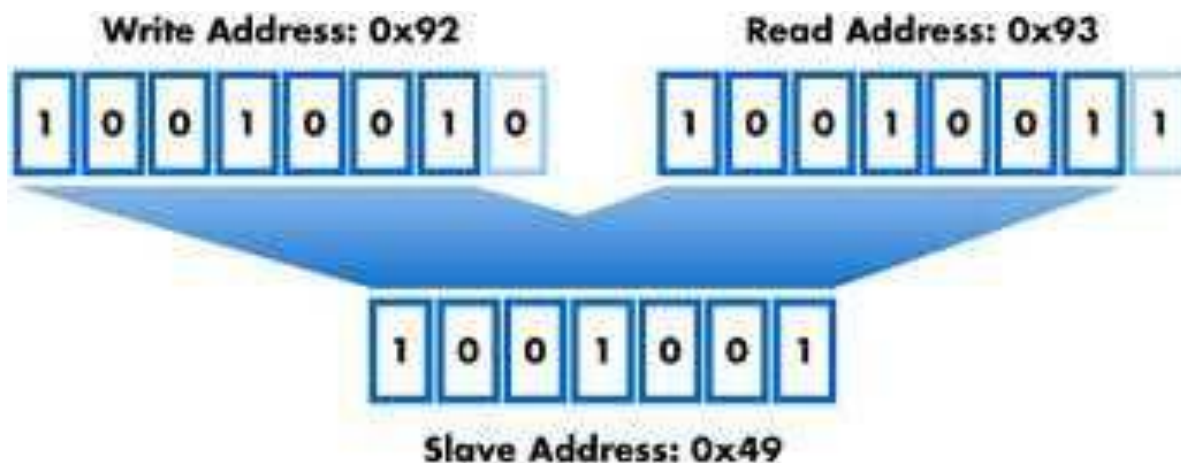


Рисунок 2.15 – Процедура зчитування із підлеглого приладу

Для уникнення перерахованих проблем до зчитування даних з підлеглого пристрою було запропоновано новий підхід. Цей підхід представляє собою похідний від описаної методики і базується на ітеративному процесі. Слід відзначити, що в нового ітеративному підході є вагомні переваги. Найважливішою із таких переваг є усунення затримки всередині циклу передачі даних.

Процедуру зчитування можна розділити на частину надсилання запиту та частину отримання даних у відповідь на надісланий запит. При початку операції зчитування, ведучий буде намагатися встановити зв'язок із підлеглим. Ця операція буде повторюватись ітеративно до тих пір, поки ведучий механізм не отримає запит від підлеглого. Для уникнення зациклення на цьому етапі встановлено максимальну кількість ітерацій, яка позначається як MAX\_req.

У випадку отримання відповіді із підлеглого приладу, на приймаючій частині буде продовжено потік виконання програми. На кожному отриманому байті буде проведена перевірка на предмет того, чи дані достовірні. Якщо

перевірка негативна, то процес повторюється знову з етапу запиту на отримання даних. Після отримання всього потоку необхідної інформації процедура обміну даними завершується.

Такий підхід дозволяє усунути затримку при передачі даних, а отже і збільшити швидкість передачі даних. Крім того, збільшується ймовірність отримання достовірних даних. Проведення перевірки показало, що найкращими значеннями для MAX\_req і MAX\_recv є 100.

Операція запису виконується по більш простій процедурі. Різниця полягає у тому, що не має необхідності на відправлення запиту за допомогою відповідної команди Containing до ведучого пристрою. Якщо отримано біт підтвердження, то операція запису була успішна, а зв'язок буде завершено. У протилежному випадку зв'язок буде перервано. В такому випадку всередині циклу виникає затримка, що є недоліком такого підходу.

В загальному, необхідно провести підбір проводів таким чином, щоб звести до мінімуму перехресні ерешкоди до шин. Чим довший кабель, тим більше I<sup>2</sup>C шина страждає від перешкод. Тому рекомендується використовувати заздалегідь визначену схему підключення. На рис. 2.16 показано схему підключення кабелю.

При передачі даних через шину та аналізу швидкості передачі даних було встановлено, що виміряна тактова частота становить 66,7 кГц, що значно відхиляється від бажаних проектних 400 кГц. Для досягнення тактової частоти у 400 кГц було адаптовано регістри в контролері. В результаті такої адаптації була отримана максимальна продуктивність шини, виміряна тактова частота якої склала 343 кГц.

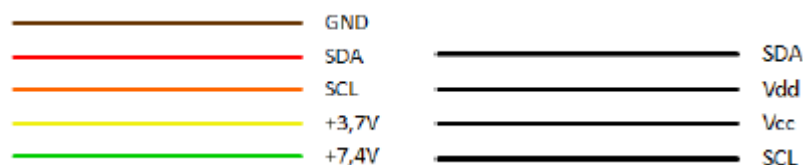


Рисунок 2.16 – Схема підключення кабелю



кожні п'ять років. Загальна протяжність газових мереж Хмельницької області становить приблизно 20 тис. км.

Якщо припустити, що робот здатний інспектувати 2 кілометри газової труби в день, тобто швидкість інспекції становить 8 см/сек, то для перевірки всієї газової мережі Хмельницької області за п'ять років необхідно 6 роботів. Або ж цю перевірку можна провести за один рік завдяки 30 роботам. Вважається, що радіус дії одного робота становить 10 км, тобто в кінцевому підсумку для інспекції Хмельницької області знадобиться 2 тисячі док-станцій.

Для установки такого бездротового зв'язку між PIRATE-роботом та док-станціями необхідно ввести в систему відповідний пристрій зв'язку. Для цього була спроектована основна плата такого пристрою, яка містить модуль Nordic nRF24L01 (рис. 2.18) [1].

Цей модуль працює на частоті 2,4 ГГц та використовується для зв'язку мікроконтролерів між собою. Керування виконується по інтерфейсу SPI, швидкість становить 2 Мбіти, необхідне електроживлення – 3,3 В. Радіус безперебійної дії порівняно невеликий, але достатній для поставлених задач. Часткові перебої в передачі сигналу починаються при наявності трьох бетонних стін, а у випадку двох стін перебої не фіксуються [1].

Ключові особливості вищезазначеного модуля наступні:

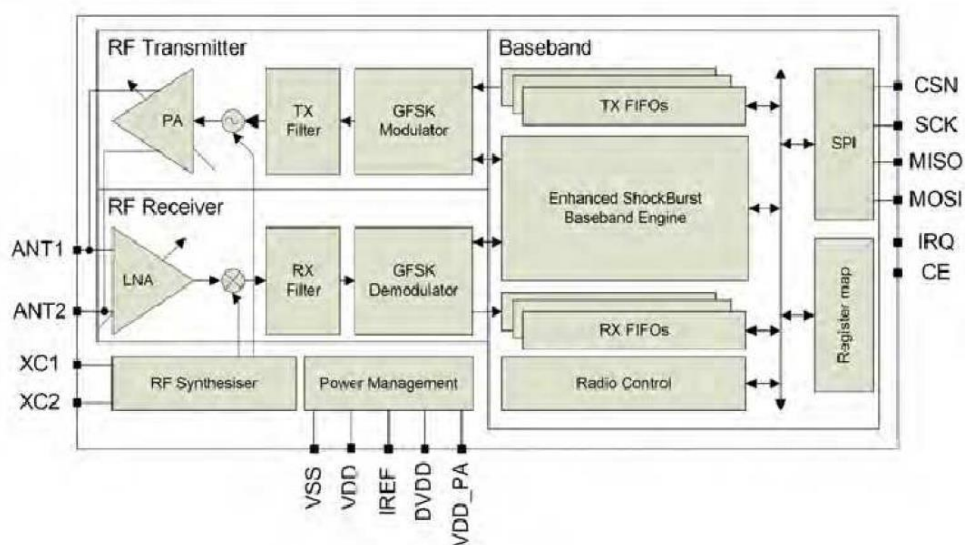
- 126 радіочастотних каналів;
- робота в діапазоні 2,4 ГГц;
- програмована потужність: 0, -6, -12 або -18 дБм;
- швидкість передачі даних 2 Мбіт/с;
- покращений Shock Burst™.

Налаштування і керування nRF24L01 відбувається через порт SPI0 на головному контролері. Через цей інтерфейс наявний доступ до карти регістрів, яка, в свою чергу, містить всі конфігураційні регістри nRF24L01, а також доступна у всіх режимах роботи мікросхеми. Для включення мікросхеми для прийому пакетів в режимі RX використовується CE (Chip Enable). Виводом переривання є

IRQ, який повідомляє про отримання пакета даних або про його успішну відправку. Цей вивід також попереджає про досягнення максимальної кількості ретрансляцій.



а)



б)

Рисунок 2.18 – Радіо модуль Nordic nRF24L01:

а – зовнішній вигляд; б – блок- схема

Конфігурувати цей модуль можна в чотирьох режимах роботи (рис. 2.19):

- режим очікування;
- режим прийому/передачі даних (RX);
- режим вимкнення живлення;
- режим TX.

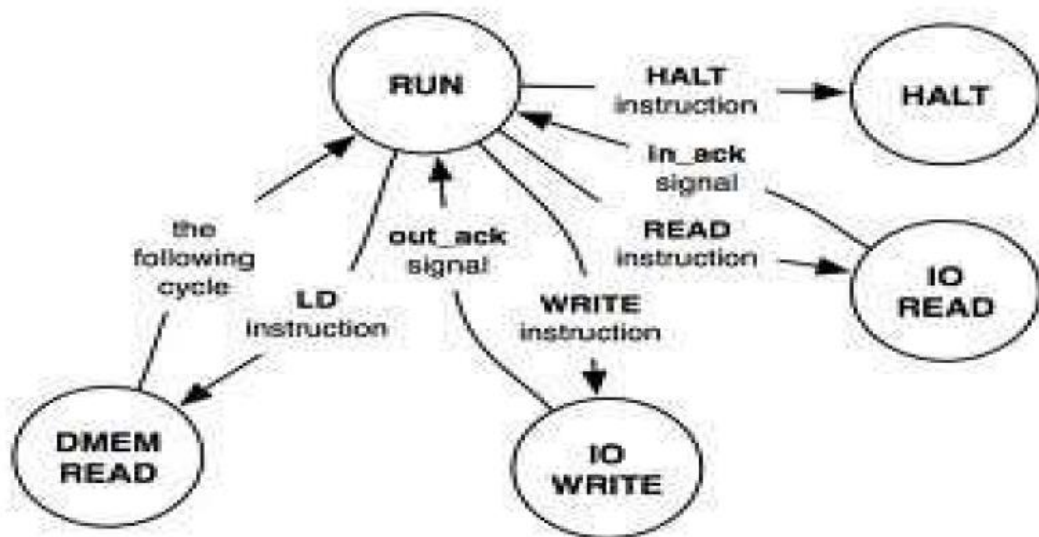


Рисунок 2.19 - Діаграма стану радіокерування

В режимі вимкнення живлення модуль nRF24L01 працює в умовах мінімального споживання струму. В цьому режимі зберігаються всі значення регістрів, доступні через SPI.

Перехід пристрою в режим очікування I відбувається при встановленні біта PWR\_UP в регістрі CONFIG в 1. Цей режим варто використовувати для мінімізації середнього струму споживання. В цьому режимі активною є лише частина кристалічного генератора. В режимі очікування II активними стають додаткові тактові буфери, а також зростає споживання струму.

Режим RX представляє собою активний режим, в якому nRF24L01 працює в ролі приймача. Вхід в цей режим виконується у випадку високого рівня біта PWR\_UP, PRIM\_RX та виходу CE. При роботі в цьому режимі приймач демоделює сигнали з каналу.

Активним також є режим TX, в якому модуль передає пакети даних. Вхід в цей режим модуль повинен мати біт PWR\_UP на високому рівні, PRIM\_RX – на низькому рівні. В такому випадку мікросхема залишається в цьому режимі до тих пір, поки повністю не закінчиться передача поточного пакету. При значенні CE=0 модуль nRF24L01 переходить в режим очікування I, а при значенні CE=1 наступна дія модулю визначається станом TX FIFO. Якщо останні порожній, nRF24L01 переходить в режим очікування II. Якщо ж ні, то модуль залишається в режимі TX.

Перемикання між режимами TX та RX необхідне для двонаправленої передачі даних між док-станцією та PIRATE-роботом. Для перевірки продуктивності передачі даних можна використовувати перенаправлення бездротового COM-порту (рис. 2.20).

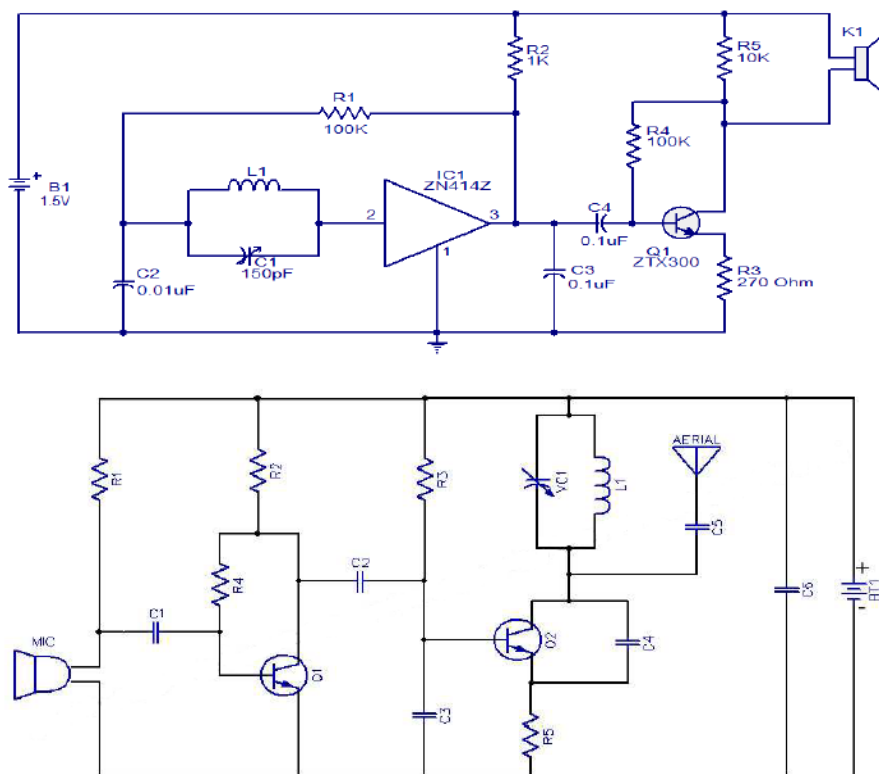


Рисунок 2.20 - Налаштування бездротового перенаправлення даних

З керуючої програми на локальний пристрій надсилається символ, який передається на nRF24L01. Модуль nRF24L01 в свою чергу передає символ в ефір.

Прийом цього символу відбувається на віддаленому пристрої, після чого відбувається його відправка назад на локальний пристрій. В решті решт локальний пристрій використовує послідовне з'єднання RS232 для перенаправлення символу на комп'ютер керування.

Інтерфейс керуючої програми показано на рис. 2.21. Віддалений та локальні пристрої розташовані на відстані у приблизно 2 метри. Як видно з рис. 2.21, зі всіх переданих пакетів фактично не дійшов лише один. Цей пакет розташований у третьому рядку і 8 символі та позначений зірочкою.

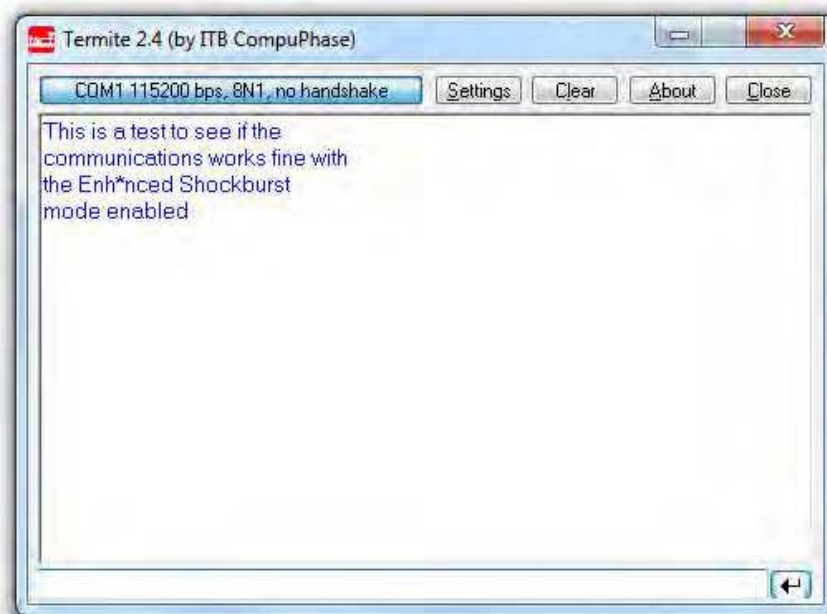


Рисунок 2.21 – Керуюча програма

У зворотному зв'язку при передачі стану робота використовується ряд змінних, які були умовно розділені на 2 частини. Перша частина змінних використовується у вигляді контурів із поворотом і нахилом. До них відносяться кутові швидкості коліс 2 і 7, крутний момент на шарнірах 7, 6, 3 і 2, а також кутові переміщення шарнірів 7, 6, 4, 3 і 2. До того ж система повинна мати можливість розширити зворотний зв'язок, для чого передбачено використання додаткових змінних. Такими змінними виступають температура, відмітка часу, стан двигунів, орієнтація робота та стан контролерів.

## 2.4 Висновки до другого розділу

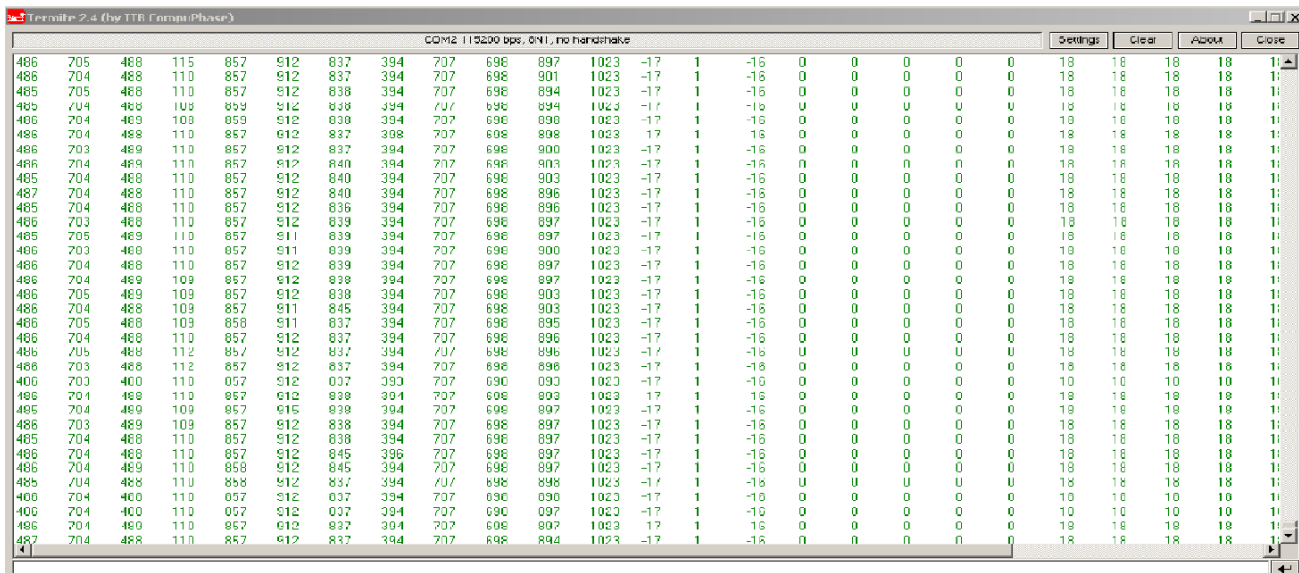
У другому розділі наведено опис роботизованої системи типу PIRATE, який призначений для інспекції трубопроводів малого діаметру, а саме від 63 до 125 мм. В розділі описана розроблена модуль такої роботизованої системи, наведені конструкторивні елементи робота, описані контролери, які використовуються, наводиться конфігурація модулів та розглядається альтернативний варіант конструкції PIRATE-робота. Також в розділі описаний принцип функціонування запропонованого каналу зв'язку для використання роботизованої системи.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ

#### 3.1 Моделювання прохідності робототехнічної системи інспекції трубопроводів

Дані про стан роботи передаються до двигунів від локальних контролерів через І<sup>2</sup>С-шину. Після цього на док-станцію поступають дані про вектор стану (рис. 3.1), які в подальшому перенаправляються на комп'ютер керування роботом. На комп'ютері керування повинна обов'язково бути запущена розроблена керуюча програма, яка отримала назву Терміт.



COM2 115200 bps, CN1, no handshake																						
486	705	488	115	857	812	837	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	394	707	698	901	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	705	488	110	857	812	838	394	707	698	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	488	109	859	812	838	394	707	698	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	489	109	859	812	838	394	707	698	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	398	707	698	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	489	110	857	812	837	394	707	698	900	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	489	110	857	812	840	394	707	698	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	488	110	857	812	840	394	707	698	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
487	704	488	110	857	812	840	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	488	110	857	812	836	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	488	110	857	812	839	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	705	489	110	857	811	839	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	488	110	857	811	839	394	707	698	900	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	839	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	489	109	857	812	838	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	705	489	109	857	812	838	394	707	698	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	109	857	811	845	394	707	698	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	705	488	109	858	811	837	394	707	698	895	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	705	488	112	857	812	837	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	486	112	857	812	837	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	488	110	857	812	837	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	701	488	110	857	812	838	394	707	698	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	489	109	857	815	838	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	703	489	109	857	812	838	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	488	110	857	812	838	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	845	396	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	489	110	858	812	845	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
485	704	488	110	858	812	837	394	707	698	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	394	707	698	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	489	110	857	812	845	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
486	704	488	110	857	812	837	394	707	698	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18
487	704	488	110	857	812	837	394	707	698	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	18	18	18	18	18

Рисунок 3.1 – Вивід даних із керуючої програми Терміт

Для визначення коректності двонаправленої роботи, користувач програми повинен мати можливість надіслати команди на PIRATE-робот. Для відправки команд у вікні програми необхідно ввести команду D1, яка призначена для ввімкнення зворотного зв'язку. При отриманні PIRATE-роботом команди D1 він починає передачу даних на частоті 50 Гц. Приклад такого виводу наведений на

рис. 3.1. Для зупинки зворотного зв'язку і передачі інформації про стан роботи користувачу необхідно ввести команду D0.

Дослідження поведінки змодельованої роботизованої системи в реальному часі проводилось на основі вимірювання затримки бездротового з'єднання. Ця перевірка виконувалась шляхом перемикання на основній платі відповідного виводу при передачу тестового пакету даних. Це дозволило визначити затримку між відправкою та отриманням пакету даних. Як видно з рис. 3.2, затримка між відправником (роботом) та одержувачем (док-станція) при відправці пакету даних становить 440 мкс при розмірі пакети 32 байти.

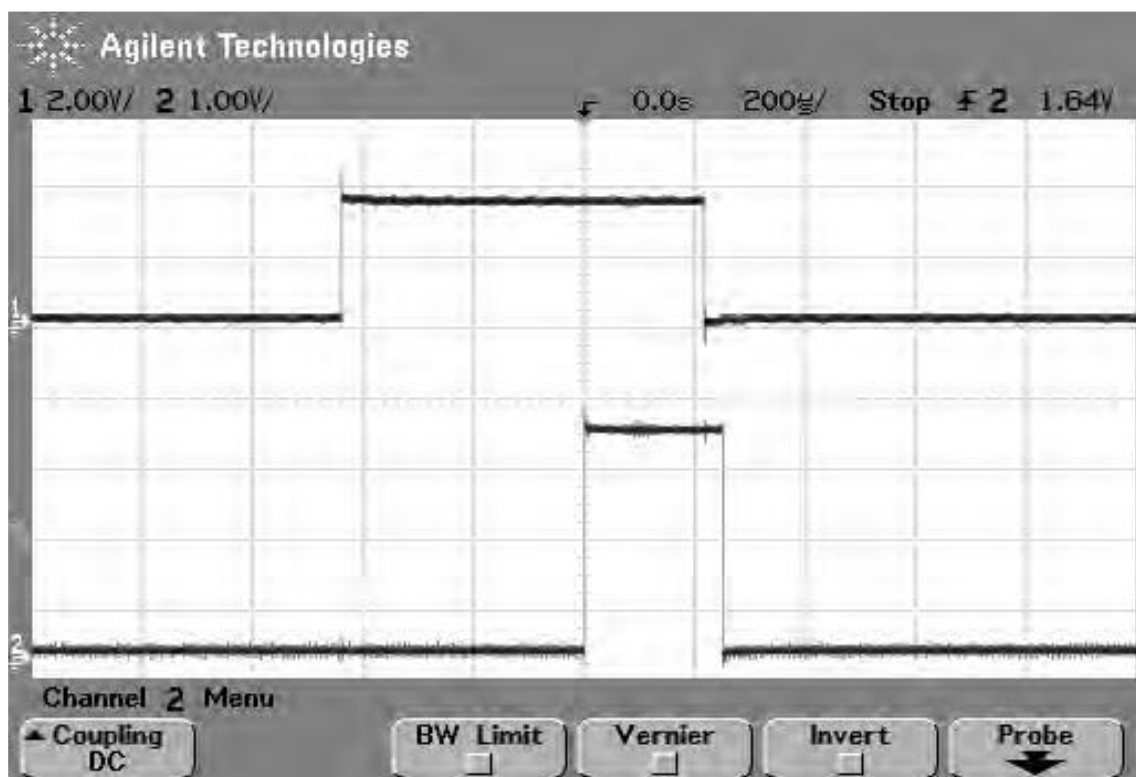


Рисунок 3.2 – Затримка при передачі даних від робота на док-станцію

Для перевірки роботи кутових з'єднань робота на першому етапі необхідно провести калібрування потенціометрів, які вимірюють кути нахилу конструктивних елементів робота. В процесі калібрування необхідно провести визначення АЦП потенціометрів з 90-градусним та нульовим кутом. В

подальшому отримані значення будуть адаптовані для реальних умов використання роботизованої системи.

На першому етапі необхідно визначити значення АЦП для всіх з'єднань з нульовим кутом. Цей кут відповідає позиції робота, при якому він повністю витягнутий (рис. 3.3). Значення АЦП були отримані шляхом включення зворотного зв'язку із термінальної програми. На рис. 3.3 видно, що використовується один кут із значенням 90 градусів, який представляє собою опорний кут. Таке калібрування виконується для кутових з'єднань під номерами 2, 3, 4, 6 і 7. Результати калібрувань наведені в табл. 3.1.



Рисунок 3.3 – Позиція PIRATE-робота при калібруванні кутів з'єднання

Таблиця 3.1 – Значення АЦП при калібруванні

Вимірювання	Кут 90°		Кут 0°	
	1	2	1	2
З'єднання 7	125	130	393	406
З'єднання 6	576	566	856	851
З'єднання 4	913	915	636	639
З'єднання 3	591	590	858	868
З'єднання 2	102	110	377	389

Оскільки система інспекції трубопроводів призначена в першу чергу для труб малого діаметру, то цей фактор на початку є визначальним. Тому на першому етапі була проведена оцінка діаметру труби на прямих відрізках при інспекції трубопроводів різного діаметру. Після цього було проведено моделювання та оцінки решти п'яти визначних параметрів функціонування робототехнічної системи в розрізі навколишнього середовища.

Для симуляції роботи PIRATE-робота було обрано прямі відрізки труб різного діаметру. Для наочності симуляції роботи були обрані прозорі труби. Було обрано три найбільш поширені в системах газопроводів діаметри, а саме:

- 56 мм, що відповідає системі газопостачання низького тиску;
- 86 мм (система газопостачання низького тиску);
- 116 мм (система газопостачання середнього тиску).

На рис. 3.4 показано початкову симуляцію прохідності PIRATE-робота в прямому відрізку труби діаметром 56 мм, а також натурний експеримент прохідності. В моделі (рис. 3.4, а) проводиться оцінка розташування та прохідності робота на основі двох жовтих ділянок труби. Ділянки, показані зеленим кольором означають, що симуляція була ефективною на цих ділянках. Результати параметрів прохідності наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати оцінки прохідності робота в трубі діаметром 56 мм

Параметр	Значення за симуляцією	Реальне значення	Похибка
Діаметр труби, мм	56,28	56	0,28
Вигин труби, град.	0	0,37	0,37

Аналогічним чином була перевірена прохідність робота в трубі діаметром 86 мм. Колір оцінки за симуляцією при діаметрі 86 мм є більш темним, що свідчить про меншу прохідність. Це пояснюється тим, що між елементами труби

в цій симуляції було задано кут і вони не лежать на одній лінії. Результати вимірювань наведені в табл. 3.3.



а)



б)

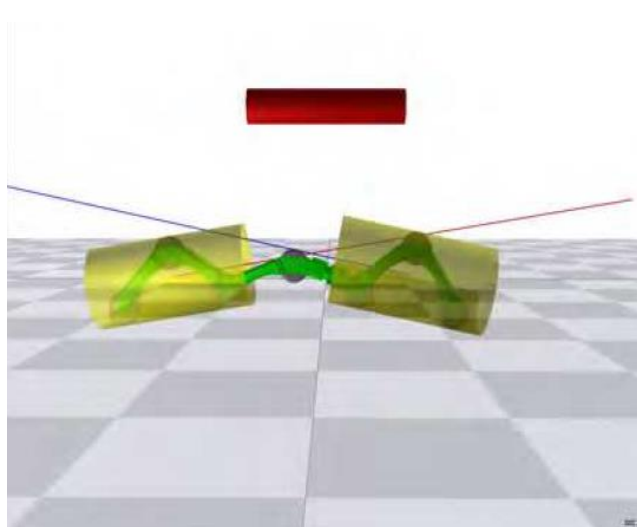
Рисунок 3.4 – Тестування прохідності робота в трубі діаметром 56 мм:

а – симуляція; б – експеримент

Таблиця 3.3 – Результати оцінки прохідності робота в трубі діаметром 86 мм

Параметр	Значення за симуляцією	Реальне значення	Похибка
Діаметр труби, мм	85,44	86	0,56
Вигин труби, град.	5,05	6	0,95

Останній експеримент проводився для труб діаметром 116 мм. В результаті симуляції було виявлено деякі проблеми, які показані на рис. 3.5. Червоний колір у верхній частині симуляції означає, що наявні проблеми у функціонуванні робота. Ці проблеми пояснюються кутами з'єднань 3 та 6 (рис. 3.5, б), в яких при такому положенні в трубі виникає помилка повернення сигналу. Тобто, такою робота рекомендується використовувати для труб діаметром менше 100 мм, тобто труб низького тиску. Результати вимірювань наведені у табл. 3.4.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Тестування прохідності робота в трубі діаметром 116 мм:

а – симуляція; б – експеримент

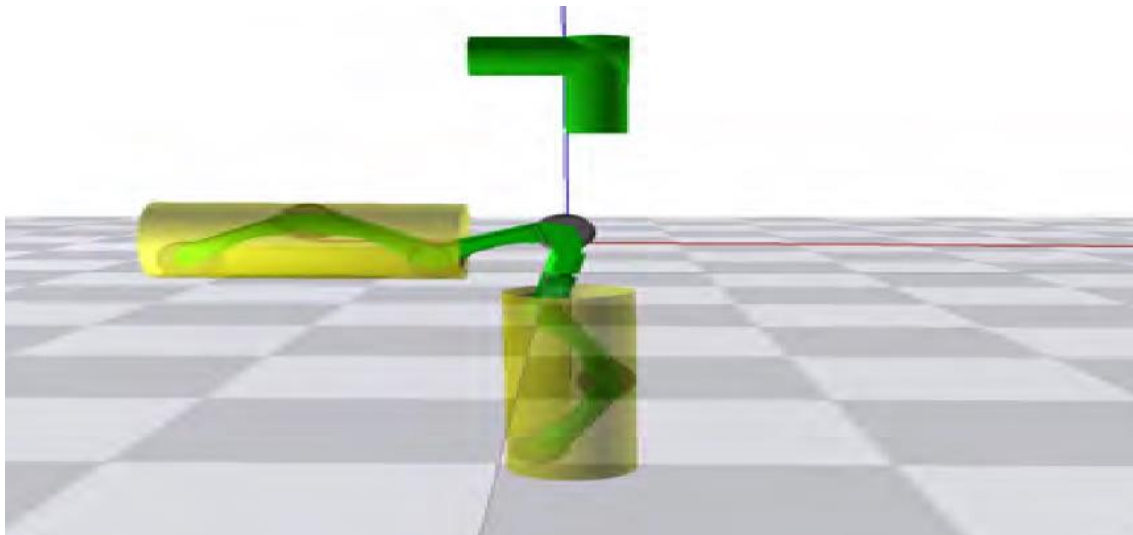
Таблиця 3.4 – Результати оцінки прохідності робота в трубі діаметром 116 мм

Параметр	Значення за симуляцією	Реальне значення	Похибка
Діаметр труби, мм	104,33	116	11,67
Вигин труби, град.	19,33	19,6	0,27

Аналогічним чином було проведення оцінку прохідності PIRATE-робота у випадку вигину трубопроводу, що є достатньо поширеним кутом при прокладанні трубопроводних мереж. Оскільки прохідність у трубах діаметром 116 мм мала

нижчі значення, ніж при діаметрі 86 та 56 мм, то у роботі в подальшому буде вважатись, що цього робота варто використовувати лише в трубах діаметром менше 100 мм. Тому оцінка прохідності при вигині труб проводилась лише для діаметрів 56 та 86 мм.

Першу симуляцію було виконано для діаметр труб 86 мм та їх вигині під кутом 90 градусів. Результати наведені у табл. 3.5 та на рис. 3.6.



а)



б)

Рисунок 3.6 - Тестування прохідності робота в трубі діаметром 86 мм при наявності вигину труби:

а – симуляція; б – експеримент

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

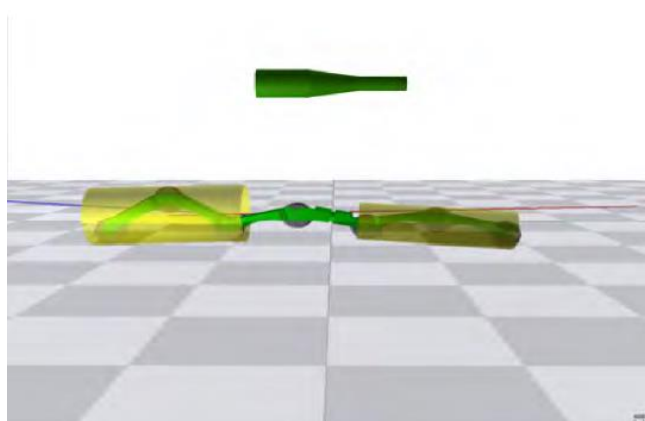
Арк.

54

Таблиця 3.5 – Результати оцінки прохідності робота в трубі діаметром 86 мм при вигині труби

Параметр	Значення за симуляцією	Реальне значення	Похибка
Діаметр труби, мм	86,1	86	0,1
Вигин труби, град.	0	1,2	1,2

Також було проведено тестування прохідності трубопроводу при зміні діаметру труби. За замовченням було обрано перехід від труби діаметром 86 мм до труби діаметром 56 мм. Результати тестування прохідності наведені на рис. 3.7.



а)



б)

Рисунок 3.7 - Тестування прохідності робота при зміні діаметру труби з 86 до 56 мм: а – симуляція; б – експеримент

В результаті проведених досліджень було встановлено, що PIRATE-робот в запропонованій конструкції має достатню прохідність та відсутність перешкод у передачі даних в трубах діаметром 56 та 86 мм за умови прямого розташування труб, при повороті труб та при зменшенні діаметру з 86 до 56 мм. Тестування PIRATE-робота для його використання у трубах діаметром 116 мм показало наявність люфту між площиною робота та труби, тому в запропонованій конструкції його не рекомендується використовувати для діаметрів труб більше 100 мм, тобто для газопроводів середнього тиску.

### 3.2 Апаратна частина керування робототехнічною системою інспекції трубопроводів

Запропонована робототехнічна система інспекції трубопроводів передбачає необхідність певної апаратної частини на стороні оператора. В першу чергу до цієї апаратної частини входить датчик In-Sight моделі 3400 фірми Cognex [7].

Датчик In-Sight моделі 3400 – це датчик машинного зору із компактними розмірами, призначений для автоматизованого контролю, ідентифікації, вимірювання та наведення робототехнічного обладнання. Має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс у вигляді електронної таблиці. Постачається із компонентами, які показані на рис. 3.8. Технічні характеристики наведені в табл. 3.6.

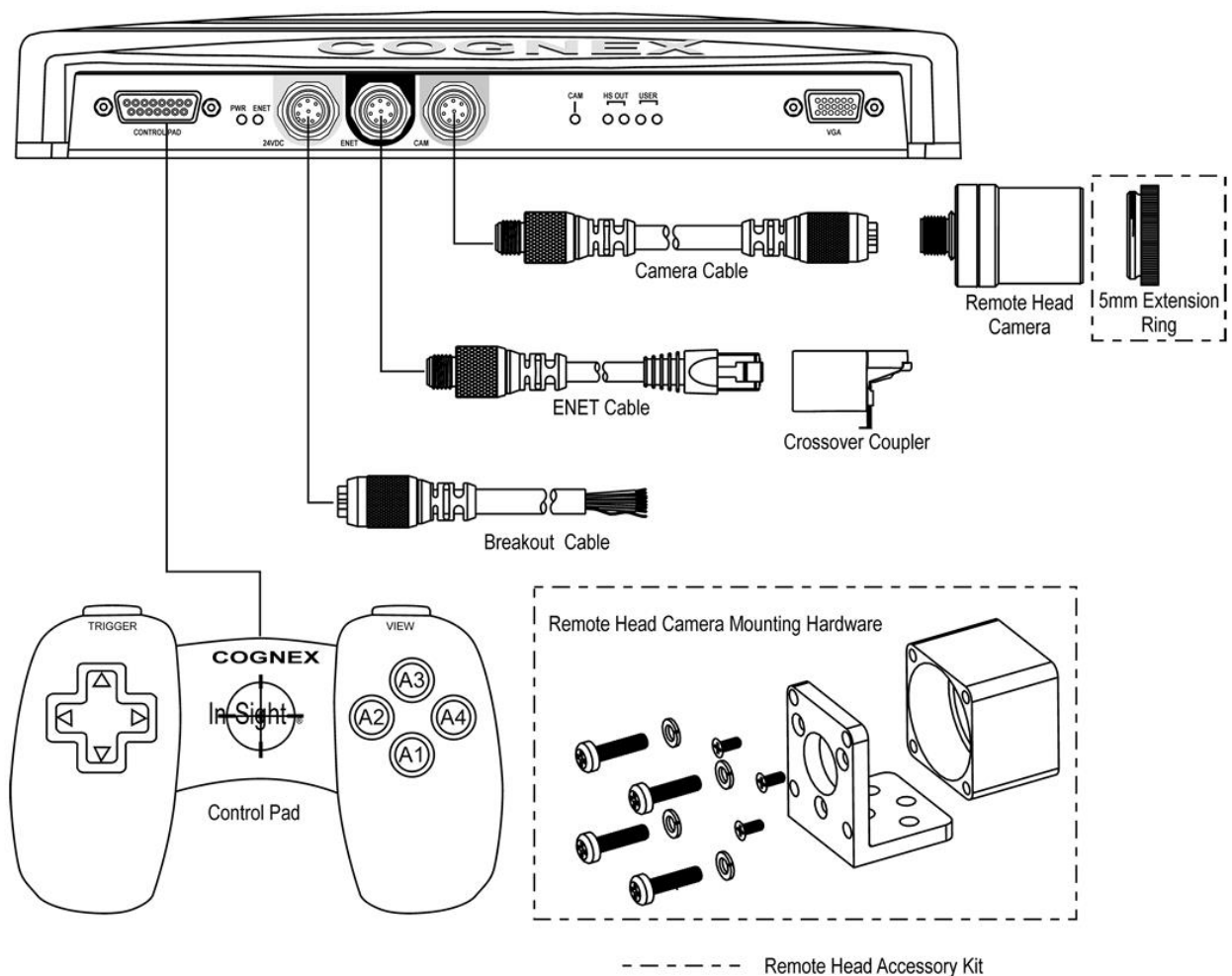


Рисунок 3.8 – Стандартні компоненти In-Sight моделі 3400

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ

Арк.  
56

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики In-Sight моделі 3400 [7]

Компонент	Опис
Датчик	Використовується для відображення зображень, обробку інформації технічним зором, Ethernet-з'єднання
Камера з виносною головкою	Призначена для збору та відправки зображення на датчик
Кабель для камери	Відповідає за з'єднання головної камери із датчиком
Трос розриву	З'єднує датчик із зовнішнім джерелом живлення, пристроями виводу, віддаленим пристроєм
Мережевий кабель	Стандартний Ethernet-кабель CAT5/5e
Кросоверний з'єднувач	Приєднується до роз'єму RJ-45 мережевого кабелю. Призначений для забезпечення функціональності кабелю CAT5/5e при прямому підключенні датчика до ПК
Панель керування	Використовується для налаштування інтерфейсу користувача та навігації по таблицям
Комплект аксесуарів	Містить кріплення для налобної камери та подовжувальне кільце

Наступний елемент – це модуль вводу/виводу In-Sight моделі 1450 (рис. 3.9) [6]. Цей модуль може використовуватись при температурі навколишнього середовища від 0 до 50 °С, відносної вологості від 10 до %, має вагу 164,4 грами, а розміри його становлять 150 мм x 83,1 мм x 47 мм. Модуль має 1 порт RS-232C. Для живлення потребує 24 В постійного струму із нормальною роботою при перепадах в межах 10%.

Для з'єднання елементів між собою необхідно використовувати кабель RS-232 9pin Straight Serial Cable DB9/DB9 (рис. 3.10). Цьому кабелю характерна швидкість передачі даних до 115200 біт/с [18], а основне використання полягає у з'єднанні комп'ютерів з іншими пристроями без необхідності використання в системі модему.

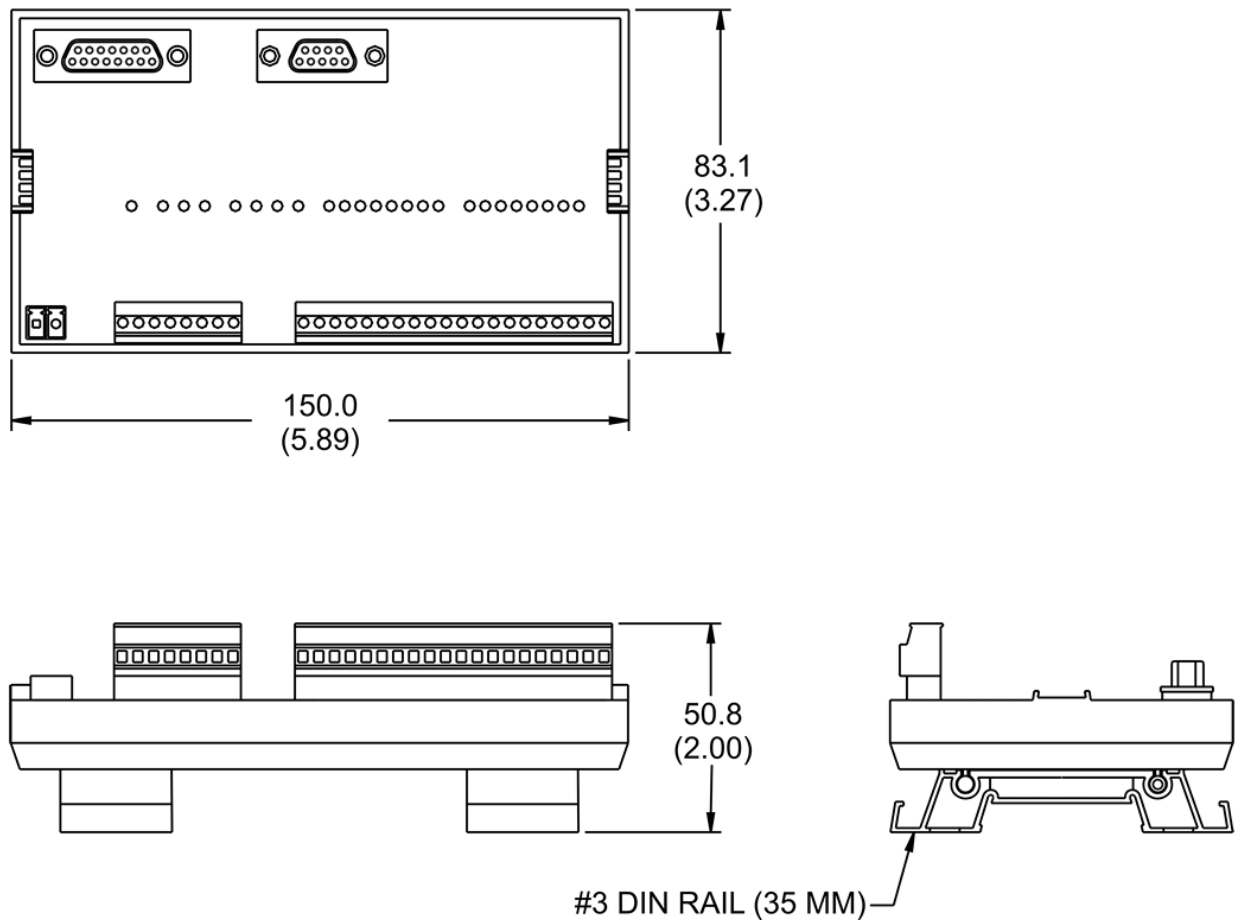


Рисунок 3.9 - Модуль вводу/виводу In-Sight моделі 1450



Рисунок 3.10 – Кабель RS-232 9pin Straight Serial Cable DB9/DB9

Ключовим елементом зовнішньої апаратної частини системи є контролер ABB IRC5 (рис. 3.11) [22]. Це контролер п'ятого покоління, який призначений для керування рухом. Йому характерна висока гнучкість, зручність використання, модульність, рівень безпеки.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



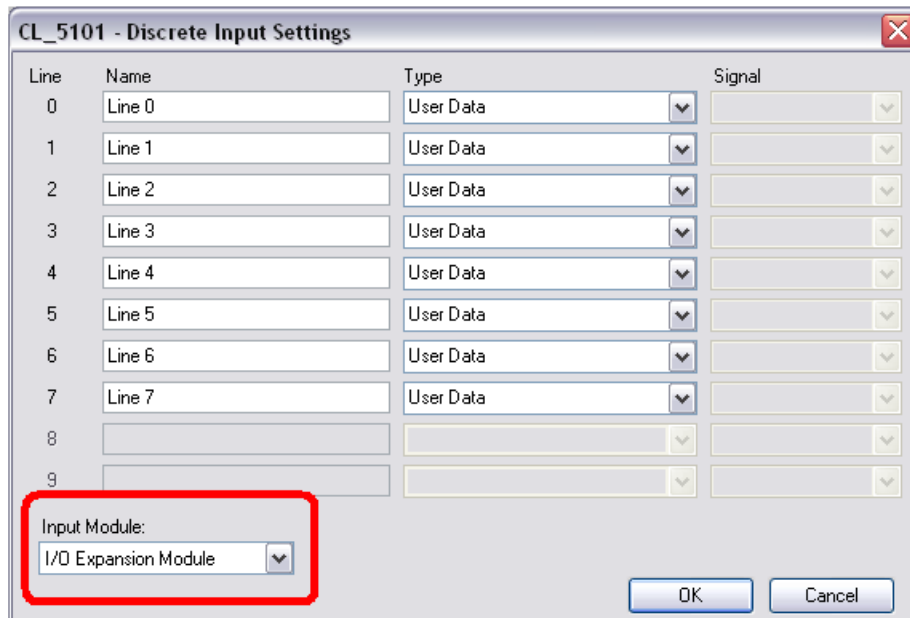


Рисунок 3.12 – Налаштування PIRATE-робота у In-Sight

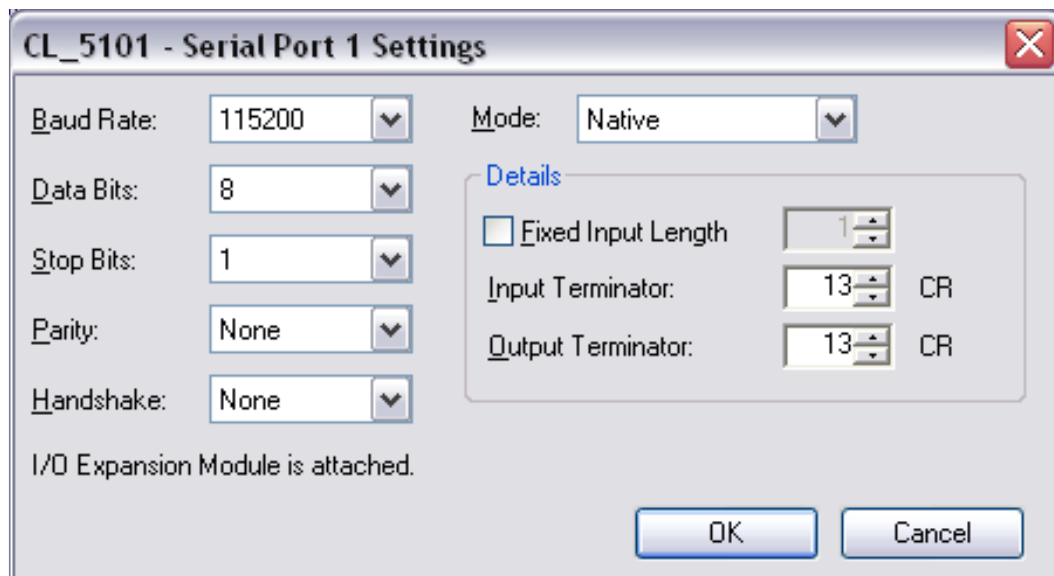


Рисунок 3.13 – Налаштування порту

Останнім етапом налаштування буде встановлення нових умов експлуатації робота. Для цього необхідно встановити властивості комірки A0 із значеннями Перевірено в полі Вручну та Зовнішній в полі Тригер. У комірці A2 необхідно ввести параметр Extract Blobs. При введенні цього параметру може з'явитись відповідне діалогове вікно властивостей, в якому необхідно підтвердити властивості за замовченням.

Далі необхідно визначити посилання на координати клітинок. Значення по координаті X повинно записуватись у комірку C6 та C2, які необхідно вибрати на вкладці Фрагменти панелі інструментів. Аналогічним чином обираються комірки для координати Y, які відповідають D6 та D2, а кут вигину роботу відповідно у комірках E6 та E2.

### 3.4 Налаштування каналу зв'язку робототехнічної системи інспекції трубопроводів

Як вже зазначалось у розділі 3.2, для коректного функціонування PIRATE-робота на стороні оператора, тобто на персональному комп'ютері апаратного модулю повинно бути встановлене програмне забезпечення In-Sight Explorer версії 3.3 або вище.

В прикладі, що розглядається в подальшому, показано підключення контролера до програмного забезпечення з IP-адресою 192.168.0.1. Якщо оператор робототехнічної системи не знає IP-адресу датчика, її можна визначити через In-Sight Explorer. Для цього необхідно перейти в розділ Мережа і обрати пункт Властивості.

Створення завдання в In-Sight Explorer на передачу даних від PIRATE-робота до оператора бездротовим каналом зв'язку необхідно встановити наступні характеристики:

- властивості комірки A0: тригер із значенням зовнішній, вручну із значенням установлено;
- комірка A2 (Extract Blobs) у діалоговому вікні властивостей необхідно вставити фрагмент «ABV»;
- у комірці A4 на вкладці Фрагменти необхідно встановити зв'язок роботи через ABV;

– аналогічно до налаштування експлуатаційних властивостей необхідно визначити координати клітинок: координата X – С6 та С2, координата Y – D6 та D2; значення кута – E6 та E2.

Для впевненості в тому, що Extract Blobs змінив дані варто вручну запустити піктограму запуску та перевірити значення. Останнім етапом є збереження завдання та подальше ввімкнення датчика.

Оператор робототехнічної системи може створити завдання на проведення перевірки як експлуатаційних характеристик, так і роботи бездротового каналу зв'язку. Для цього необхідно виконати ряд кроків, які описані нижче.

На першому етапі необхідно у керуючій програмі In-Sight 3.3 створити тестове завдання. Властивості комірки A0 для такого завдання будуть значення зовнішній для поля тригер і значення перевірено для поля вручну (тобто значення за замовченням). Extract Blobs необхідно ввести у значення комірки A2. Комірка A4 буде призначена для функції Find Blobs. Через діалогове вікно необхідно для властивості Find Blobs значення B2.

Для перевірки роботи необхідно обрати Ручний запуск на панелі піктограм або ж через меню відображення, в якому також є ручний запуск. Далі необхідно перевести датчик в режим он-лайн шляхом вибору відповідної властивості у меню Сенсор.

У випадку виникнення проблем зі з'єднанням із програмним забезпеченням необхідно створити нове з'єднання із наступними властивостями:

- порт – COM1;
- парність – немає;
- біт в секунду – 115200;
- стопові біти – 1;
- біти даних – 8;
- керування потоком – відсутнє.

В подальшому необхідно встановити властивості тестового прогону таким чином, як це показано на рис. 3.14. Для зручності перегляду варто встановити налаштування ASCII таким чином, як це показано на рис. 3.15.

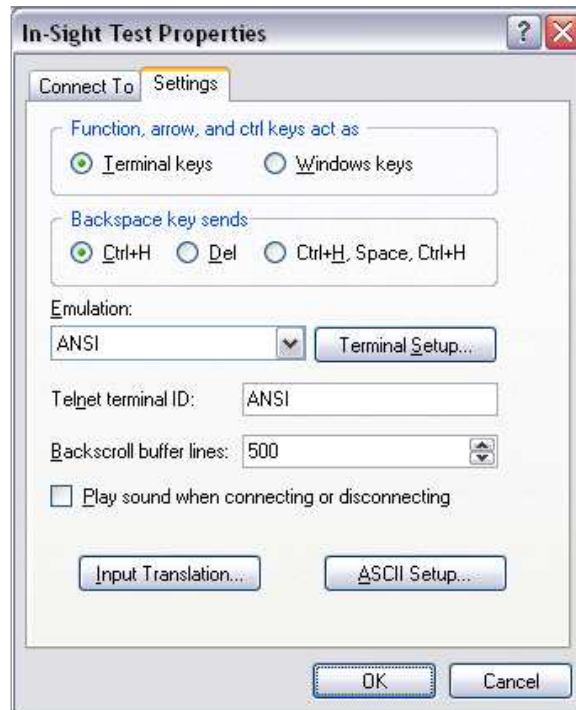


Рисунок 3.14 – Властивості тестового прогону

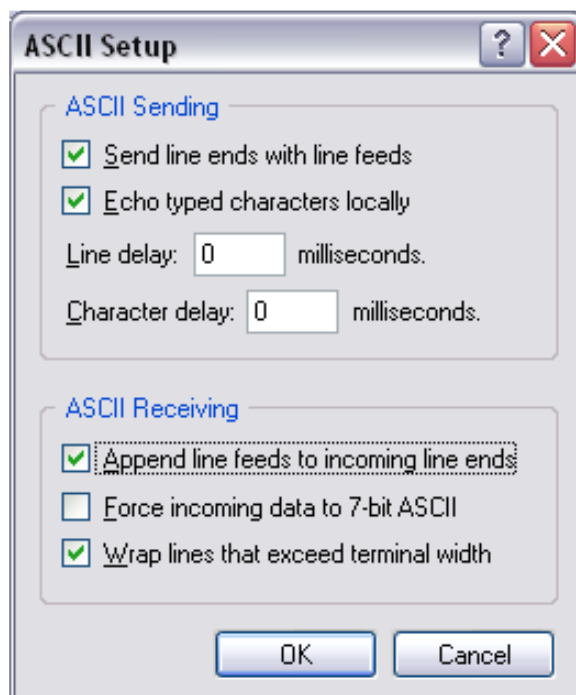


Рисунок 3.15 – Налаштування ASCII

Після цього можна перевіряти роботу бездротового з'єднання між PIRATE-роботом та керуючою програмою на стороні оператора. При необхідності збору зображень з робота в ручному режимі достатньо встановити тип sw8, а для отримання значення комірки C4 – тип gvC004.

### 3.5 Висновки до третього розділу

В третьому розділі наведений опис проведення перевірки та тестування реалізованої конструкції PIRATE-робота, а також проводиться оцінка ефективності його використання. На початку показано результати тестування двонаправленого бездротового зв'язку між комп'ютером, яким користується оператор і власне PIRATE-роботом. Також наводиться процедура для калібрування кутів нахилу робота.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

## ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено аналіз сфери застосування роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів. В аналізі наведено сферу застосування та дефекти і пошкодження, які є об'єктами розпізнавання для зазначеного спеціалізованого обладнання. Також було проведено огляд існуючих конструкції роботизованого обладнання, яке використовується для неруйнівного контролю стану трубопроводів. Серед такого обладнання виділені моделі для вертикального бездротового обстеження, для обстеження трубопроводів малого діаметру (до 100 мм), а також дротові системи телеінспекції.

У другому розділі наведено опис роботизованої системи типу PIRATE, який призначений для інспекції трубопроводів малого діаметру, а саме від 63 до 125 мм. В розділі описана розроблена модуль такої роботизованої системи, наведені конструкторські елементи робота, описані контролери, які використовуються, наводиться конфігурація модулів та розглядається альтернативний варіант конструкції PIRATE-робота. Також в розділі описаний принцип функціонування запропонованого каналу зв'язку для використання роботизованої системи.

В третьому розділі наведений опис проведення перевірки та тестування реалізованої конструкції PIRATE-роботу, а також проводиться оцінка ефективності його використання. На початку показано результати тестування двонаправленого бездротового зв'язку між комп'ютером, яким користується оператор і власне PIRATE-роботом. Також наводиться процедура для калібрування кутів нахилу робота.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ai-Thinker радіомодуль NRF24L01. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod231-radiomodyl-nrf24l01-2-4-ggc> (дата звернення 29.03.2024)
2. ARM7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ARM7> (дата звернення 27.03.2024)
3. Dertien E. Basic maneuvers for an inspection robot for small diameter gas distribution mains / E. Dertien, Stramigioli S. // IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA 2011. – Shanghai, China. – 2011. – р. 3447-3448
4. I<sup>2</sup>C. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C> (дата звернення 27.03.2024)
5. In-Sight 3400. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.cognex.com/en/downloads/detail/in-sight/629/1033> (дата звернення 15.04.2024)
6. In-Sight CIO-1450 I/O model specification sheet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.cognex.com/en/downloads/detail/in-sight/1847/1033> (дата звернення 15.04.2024)
7. In-Sight Support. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.cognex.com/en/downloads/in-sight/software-firmware> (дата звернення 05.05.2024)
8. Karabegovic I. The trend of application of service robots for inspection, planned maintenance and removal of disruption in piping systems / I. Karabegovic, P. Dasic // Науковий вісник ІФНТУНГ. - №2 (51), 2021. – с. 40-46
9. TriTrax. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://industry.hlr.ua/ru/nodestructtest/robotic-control/tritrax/> (дата звернення 05.03.2024)
10. Бондаренко О.Г. Методи неруйнівного контролю та технологічного діагностування стану протяжних технологічних трубопроводів / О.Г. Бондаренко // Методи та прилади контролю якості. - №1 (48) – 2022 – с. 5-17

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

11. Глонь О.В. Комп'ютеризовані системи керування. Навчальний посібник / О.В. Глонь, В.М. Дубовий, Ю.І. Мітюшкін – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 157 с.
12. Гуржій А.М. Основи автоматики та робототехніки: навчальний посібник / А.М. Гуржій, А.Т. Нельга, В.М. Співак, О.С. Ітякін: Дніпро: «Гарант СВ», 2021. – 243 с.
13. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. – Київ, Мінрегіон України. – 2019. – 113 с.
14. ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі. Зовнішні мережі та споруди. – Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – 2009. – 83 с.
15. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 180 с.
16. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 134 с.
17. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378 с.
18. Кабель RS-232 9pin Straight Serial Cable DB9/DB9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blackchip.com.ua/kompyuterni-aksesuari/kabel-rs-232-9pin/> (дата звернення 17.04.2024)
19. Клімов С.В. Відновлення працездатності дренажу в зоні осушення з використанням телеінспекції / С.В. Клімов // Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки». – Випуск 3(75), 2016. – с. – 11-18
20. Когутяк І.М. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації. Навчальний посібник / І.М. Когутяк – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 279 с.
21. Колонтаєвський Ю. П. Мікропроцесорна техніка / Ю.П. Колонтаєвський – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків ХНУМГ. – 2016. – 78 с.

					<i>КВРАКІТ.2020030.01.08.ПЗ</i>	Арк. 67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		





38. Тиск газу в системах України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ac-group.in.ua/%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA-%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D1%83-%D0%B2-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%85-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8/> (дата звернення 15.03.2024)

39. Тичков В.В. Автоматизація виробничих процесів. Технічні засоби автоматизації. Навчально-методичний посібник до практичних робіт для здобувачів освітнього ступенів «бакалавр» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» та 18 «Виробництво та технології» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / [Упоряд. В.В. Тичков, В.Я. Гальченко, Р.В. Трембовецька, К.В. Базіло]; М-во освіти и науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2020. – 321 с.

40. Ткачук А.О. Міські інженерні мережі: навчальний посібник /А. О. Ткачук – Рівне: НУВГП, 2015. – 412 с.

41. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

42. Шевченко В.В. Основи автоматизації технологічних процесів: конспект лекцій / В.В. Шевченко, Г.С. Тимчик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с.

# Додатки

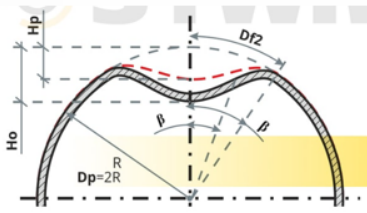
## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

### «РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ»

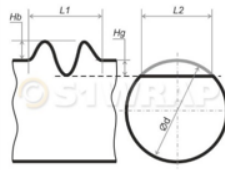
#### **ВСТУП ТА МЕТА РОБОТИ**

- ЗАКОНОДАВСТВОМ УКРАЇНИ ПЕРЕДБАЧЕНО РЕГУЛЯРНЕ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ТРУБОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ТА КОМУНІКАЦІЙ, ЯКІ ВИЗНАЧЕНІ ВІДПОВІДНИМИ НОРМАМИ. ТАКІ ІНСПЕКЦІЇ МОЖУТЬ ПРОВОДИТИСЬ ВІДПОВІДНИМ РОБОТИЗОВАНИМ ОБЛАДНАННЯМ ТА БЕЗПІЛОТНИМИ АПАРАТАМИ
- ОСНОВНОЮ ПРОБЛЕМОЮ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ІНСПЕКЦІЇ ГАЗОПРОВІДІВ НИЗЬКОГО ТА СЕРЕДЬНОГО ТИСКУ Є МАЛИЙ ДІАМЕТР ТРУБ, ЯКИЙ ЛЕЖИТЬ В МЕЖАХ ВІД 56 ДО 100 ММ ДЛЯ ГАЗОПРОВІДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ, ТА 100-200 ММ ДЛЯ ГАЗОПРОВІДІВ СЕРЕДЬНОГО ТИСКУ
- МЕТОЮ РОБОТИ Є РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ, ОСНОВНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ЯКОЇ ПОЛЯГАЄ У ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ НА ПРЕДМЕТ ВІЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ДЕФЕКТІВ

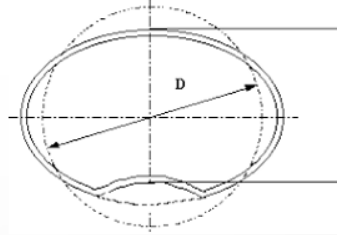
# ДЕФЕКТИ ТА ПОШКОДЖЕННЯ ТРУБ



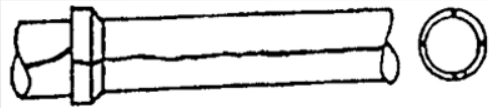
вм'ятина



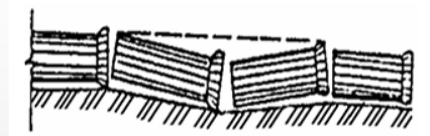
гофр



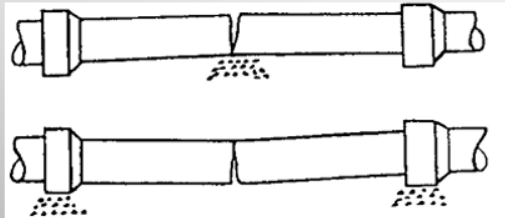
овальність



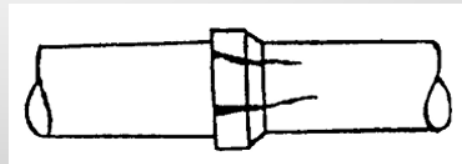
Утворення поздовжніх тріщин



Осідання труб



Поперечні тріщини

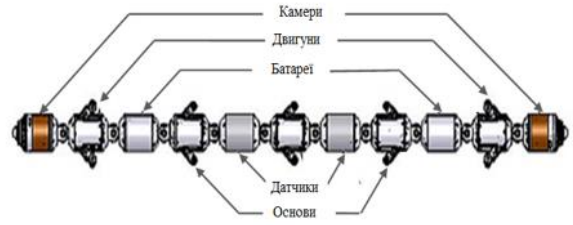


Поздовжні тріщини в місцях з'єднання

# ІСНУЮЧЕ РОБОТИЗОВАНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ



Тенденція запровадження роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів



Pipeline Explorer



Сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT



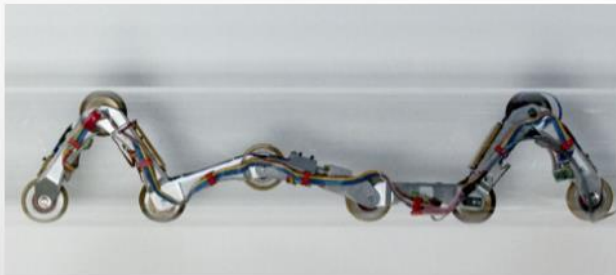
Модульна телеінспекційна система ROVION



TriTrax Crawler

# PIRATE-РОБОТ

- ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ІЗ ДІАМЕТРОМ ТРУБ ДО 100 ММ ПРОПОНУЄТЬСЯ НАСТУПНА КОНСТРУКЦІЯ РОБОТА.



PIRATE – ЦЕ АБРЕВІАТУРА ВІД АНГЛІЙСЬКОГО PIPE INSPECTION ROBOT FOR AUTONOMOUS EXPLORATION, ЩО ПЕРЕКЛАДАЄТЬСЯ ЯК РОБОТ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ АВТОНОМНОЇ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ



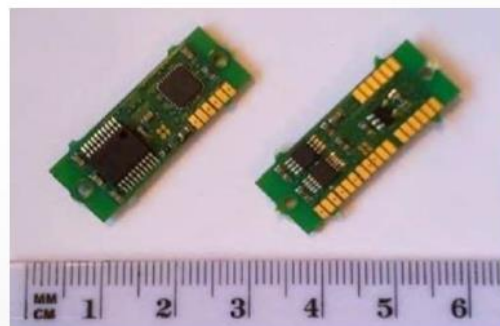
5

# КОНТРОЛЕР

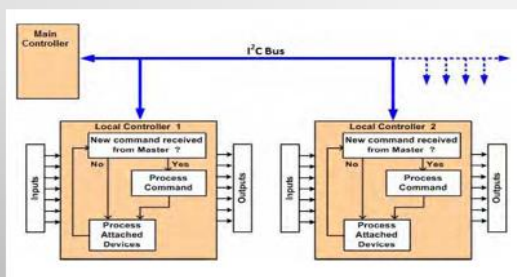
- КЕРУВАННЯ ДВИГУНАМИ ЦИХ МОДУЛІВ ВИКОНУЄТЬСЯ ІЗ 5 КОНТРОЛЕРІВ, А ЗАГАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ – ГОЛОВНИМ КОНТРОЛЕРОМ.



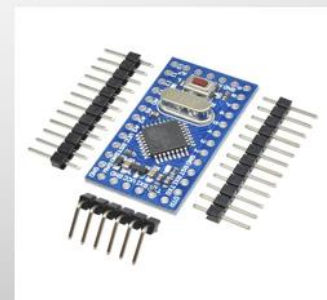
Головний контролер



Контролери двигунів



З'єднання головного контролера із локальними

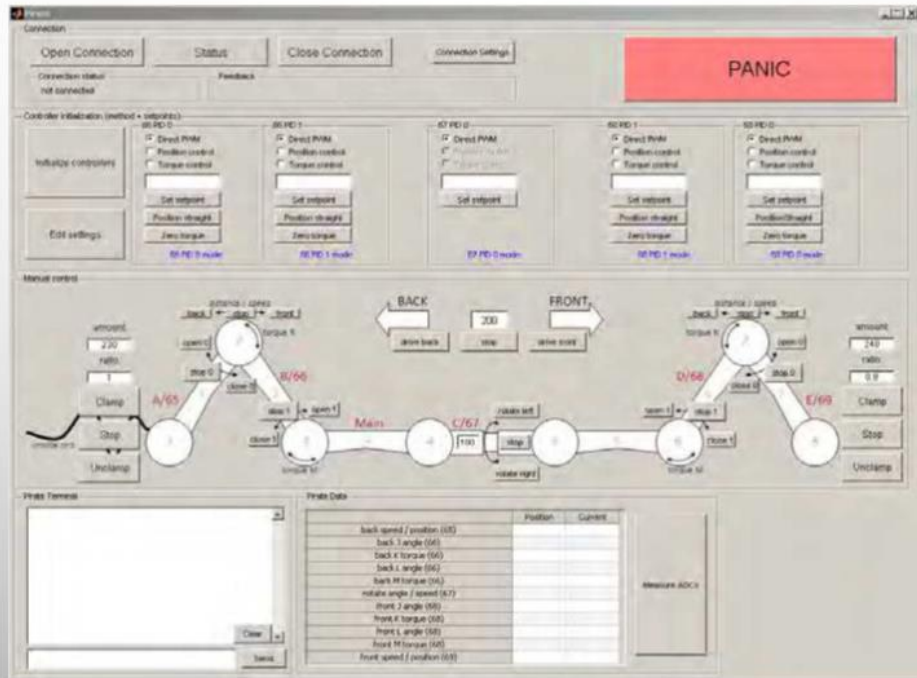


ATmega168

6

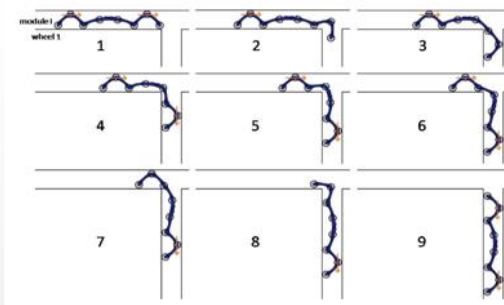
# ІНТЕРФЕЙС КЕРУВАННЯ

- ДЛЯ КЕРУВАННЯ КОНТРОЛЕРАМИ PIRATE-РОБОТА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MATLAB GUI БУЛО РОЗРОБЛЕНО ВІДПОВІДНИЙ ІНТЕРФЕЙС.

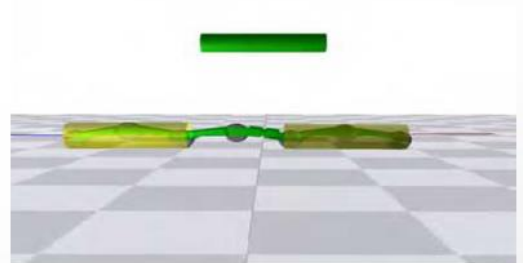


7

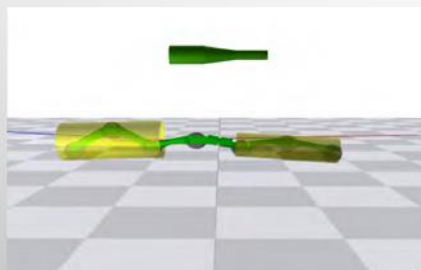
## ПЕРЕВІРКА ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ



Принцип подолання перешкод PIRATE-роботом



Тестування прохідності робота в трубі

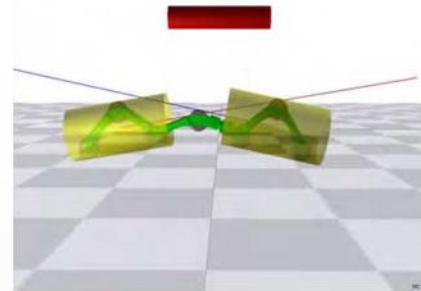
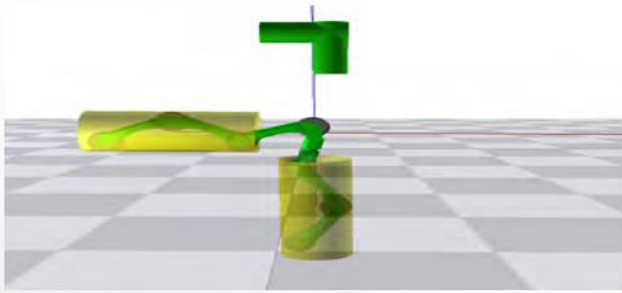


Тестування прохідності робота при зміні діаметру труби з 86 до 56 мм

діаметром 56 мм:

а – симуляція; б – експеримент 8

## ПЕРЕВІРКА ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ

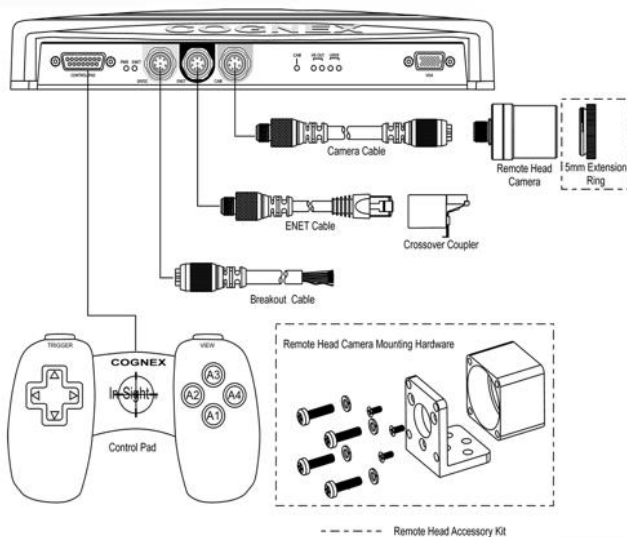


Тестування прохідності робота в трубі діаметром 86 мм при наявності вигину труби:  
а – симуляція; б – експеримент

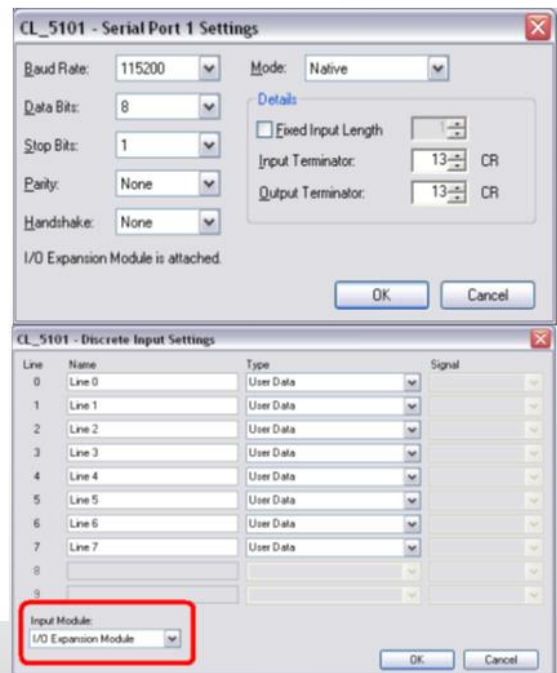


Тестування прохідності робота в трубі діаметром 116 мм:  
а – симуляція; б – експеримент

## ЗОВНІШНІЙ МОДУЛЬ

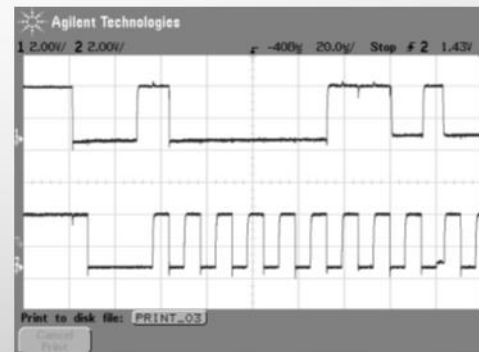
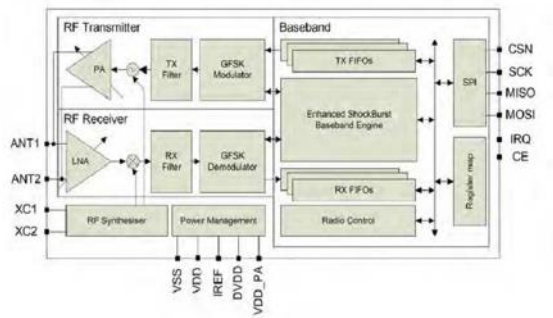
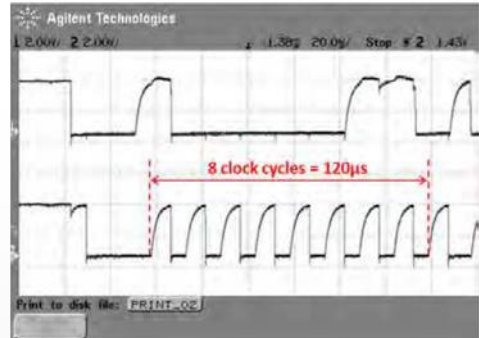


Стандартні компоненти In-Sight моделі 3400



Налаштування робота у програмному забезпеченні In-Sight

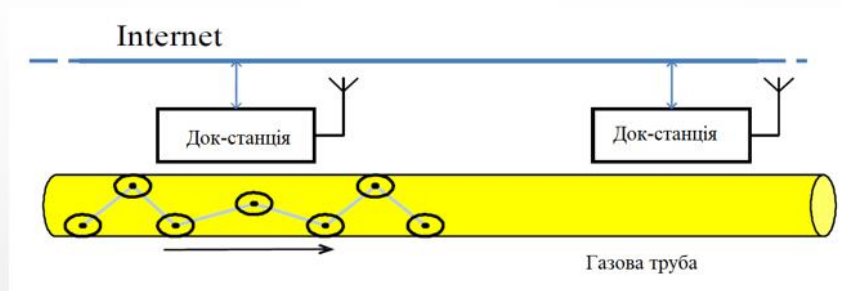
# КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ



Радіо модуль [Nordic nRF24L01](#)

Перевірка передачі даних від робота

# ОЦІНКА ПРОВЕДЕННЯ ІНСПЕКЦІЇ



Принцип використання док-станцій

Загальна протяжність газових мереж Хмельницької області становить приблизно 20 тис. км.

Перевірка газових мереж в Україні повинна проводитись кожні 5 років. Якщо припустити, що робот здатний інспектувати 2 кілометри газової труби в день, тобто швидкість інспекції становить 8 см/сек, то для перевірки всієї газової мережі Хмельницької області за п'ять років необхідно 6 роботів

## ВИСНОВКИ

- В РОБОТІ ЗАПРОПОНОВАНА КОНСТРУКЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ. ОСНОВНИМ ПРИЗНАЧЕННЯМ ЦЬЄЇ СИСТЕМИ Є ІНСПЕКЦІЯ ГАЗОПРОВІДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ, ОСКІЛЬКИ ДІАМЕТР ТРУБ У ТАКИХ СИСТЕМАХ СТАНОВИТЬ МЕНШЕ 100 ММ.
- ПЕРЕДБАЧЕНА КОНСТРУКЦІЯ РОБОТА ПОВИННА ВІДПОВІДАТИ РЯДУ ВИМОГ. ОСНОВНОЮ ВИМОГОЮ Є НЕВЕЛИКІ ГАБАРИТНІ РОЗМІРИ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ. ОКРІМ НЕВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ ТАКА РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ПОВИННА МАТИ ВИСОКИЙ РІВЕНЬ ПРОХІДНОСТІ, ЗМІНЮВАТИ СВОЇ ПАРАМЕТРИ ГАБАРИТІВ ПРИ ЗМІНІ ДІАМЕТРУ ТРУБИ, НАПРИКЛАД, ЗМЕНШЕННЮ ДІАМЕТРУ ТРУБИ З 100 ММ ДО 56 ММ.

***ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!***

Додаток Б  
Програмний код контролера для керування PIRATE-роботом

```
MODULE VISION
! DATA DECLARATIONS
PERS num nXOffs:=0;
PERS num nYOffs:=0;
PERS num nAngle:=0;
VAR string stReceived;
VAR iodev ComChannel;
PERS tooldata tGripper:=[TRUE,[0,0,0],[0,0,0,1]],
[5,[0,0],[1,0,0,0],0,0,0]];
PERS tooldata tVision:=[TRUE,[[0,0,0],[0,0,0,1]],
[5,[0,0,0],[1,0,0,0],0,0,0]];
CONST robtarget pHome:=[[0,0,0],[0,0,0,1],
[-2,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pVisionPos:=[[0,0,0],[0,0,0,1],
[-2,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

PROC Main()
MoveL pHome,v1000,fine,tVision;
GetVisionData;
MoveL Reltool(pVisionPos,nXOffs,nYOffs,0\Rz:=nAngle),v500,
fine,tGripper;
WaitTime 3;
MoveL pHome,v1000,fine,tVision;
ENDPROC

PROC GetVisionData()
VAR string XData:="";
VAR string YData:="";
VAR string AngleData:="";
VAR num NumCharacters:=9;
VAR bool bOK;
nXOffs:=0;
nYOffs:=0;
nAngle:=0;
Close ComChannel;
Open "COM2", ComChannel \Append\Bin;
```

```

ClearIOBuff ComChannel;
WaitTime\InPos, 0.5;
! Instruction In-Sight to Acquire an Image

! and not return until complete
WriteStrBin ComChannel, "sw8\0D";
CheckStatus;
! Get the value in cell C7
WriteStrBin ComChannel, "gvc007\0D";
CheckStatus;
! Read the X-offset
XData:= ReadStrbin (ComChannel, NumCharacters \Time:=5);
! Read the Y-offset
YData:= ReadStrbin (ComChannel, NumCharacters \Time:=5);
! Read the Angle-offset
AngleData:= ReadStrbin (ComChannel, NumCharacters \Time:=5);
!Closes Serial Channel "COM2"
Close ComChannel;
!Convert String Data To Numerical Data
bOK:=StrToVal(XData,nXOffs);
bOK:=StrToVal(YData,nYOffs);
bOK:=StrToVal(AngleData,nAngle);
ENDPROC

```

```

PROC CheckStatus()
stReceived:=ReadStrBin(ComChannel,1\Time:=5);
IF stReceived<>"1" THEN
TPERase;
TPWrite "Vision Error!";
Stop;
ENDIF
ClearIOBuff ComChannel;
ENDPROC
ENDMODULE

```

```

MODULE VISION
! DATA DECLARATIONS
PERS num nXOffs:=0;
PERS num nYOffs:=0;

```

```

PERS num nAngle:=0;
VAR string stReceived;
VAR socketdev ComSocket;

PERS tooldata tGripper:=[TRUE,[0,0,0],[0,0,0,1]],
[5,[0,0],[1,0,0,0],0,0,0]];
PERS tooldata tVision:=[TRUE,[[0,0,0],[0,0,0,1]],
[5,[0, 0, 0],[1,0,0,0],0,0,0]];
CONST robtarget pHome:=[[0,0,0],[0,0,0,1],
[-2,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pVisionPos:=[[0,0,0],[0,0,0,1],
[-2,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
PROC Main()
ConnectToInSight ;
MoveL pHome,v1000,fine,tVision;
GetVisionData;
MoveL Reltool(pVisionPos,nXOffs,nYOffs,0\Rz:=nAngle),v500,
fine,tGripper;
WaitTime 3;
MoveL pHome,v1000,fine,tVision;
GetVisionData;
MoveL Reltool(pVisionPos,nXOffs,nYOffs,0\Rz:=nAngle),v500,
fine,tGripper;
WaitTime 3;
MoveL pHome,v1000,fine,tVision;
SocketClose ComSocket;
ENDPROC

PROC GetVisionData()
VAR string XData:="";
VAR string YData:="";
VAR string AngleData:="";
VAR num NumCharacters:=9;
VAR bool bOK;
nXOffs:=0;
nYOffs:=0;
nAngle:=0;
status := SocketGetStatus(ComSocket);
IF status <> SOCKET_CONNECTED THEN

```

```

TPErase;
TPWrite "Vision Sensor Not Connected";
Return;
ENDIF
! Instruct In-Sight to Acquire an Image
! and not return until complete
SocketSend ComSocket \Str:="sw8";
CheckStatus;
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;

! Get the value in cell C7
SocketSend ComSocket \Str:="gvc007";
CheckStatus;
! Read the data
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;
! Parse the data string
XData:= StrPart(stReceived, 0, NumCharacters);
YData:= StrPart(stReceived, NumCharacters, NumCharacters);
AngleData:= StrPart(stReceived, 2*NumCharacters, NumCharacters);
!Convert String Data To Numerical Data
bOK:=StrToVal(XData,nXOffs);
bOK:=StrToVal(YData,nYOffs);
bOK:=StrToVal(AngleData,nAngle);
ENDPROC

PROC CheckStatus()
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;
IF stReceived <> "1" THEN
TPErase;
TPWrite "Vision Error!";
Stop;
ENDIF
ENDPROC

PROC ConnectToInSight()
SocketCreate ComSocket;
SocketConnect ComSocket, "192.168.0.1", 23;
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;
IF stReceived <> "User: " THEN
TPErase;

```

```
TPWrite "Vision Login Error (User Prompt)";
Stop;
ENDIF

! Send the Username
SocketSend ComSocket \Str:="admin";
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;
IF stReceived <> "Password: " THEN
TPerase;
TPWrite "Vision Login Error (Password Prompt)";

Stop;
ENDIF

! Send Password
SocketSend ComSocket \Str:="";
SocketReceive ComSocket \Str:=stReceived;
IF stReceived <> "User Logged In" THEN
TPerase;
TPWrite "Vision Login Error (Final Login)";
Stop;
ENDIF
ENDPROC
ENDMODULE
```

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Мармій Андрій Юрійович

Тема: Робототехнічна система інспекції трубопроводів

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 13 Кількість сторінок записки 70

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено конструкцію робототехнічної системи інспекції трубопроводів

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: Проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій роботизованого обладнання для інспекції трубопроводів. Виокремлено необхідні експлуатаційні характеристики робототехнічної системи інспекції газопроводів низького тиску. Розроблено конструкцію робототехнічної системи інспекції трубопроводів, яка включає в себе сім двигунів, головний та локальні контролери. Наведена конфігурація модулів робототехнічної системи. Змодельовано прохідність запропонованої системи в трубопроводах малого діаметру. Наведені налаштування експлуатаційних характеристик та каналу зв'язку системи.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

---

---

---

---

5. Негативні сторони роботи: у роботі розглядається конструкція роботу лише для газопроводів низького тиску із трубами малого діаметру, а не для газопроводів будь-якого діаметру

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

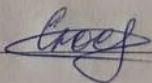
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: заб/е ( 4,50 )

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Соколан Юлія Сергіївна, доцент кафедри будівництва та цивільної безпеки  
Хмельницького національного університету

"12" 06 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Мармій А.Ю.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТ-20-1

### ЗАЯВА

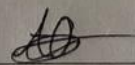
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

01.06.24

дата



підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Робототехнічна система інспекції трубопроводів

Автор: Андрій МАРМІЙ

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: к.т.н., доц. Людмила КОРЕЦЬКА

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноновживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;




3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,74% і адресується до 52 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Людмила КОРЕЦЬКА

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словниці перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 10%

ID: 130302 Назва: БКР Робототехнічна система інспекції трубопроводів Додано в БД: 2024-06-13 Автора: Андрій МАРМІЇ Керівник: Людмила КОРЕЦЬКА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	51901	789	1364 (3%)	19 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:  
1016357839

Дата перевірки:  
14.06.2024 01:29:23 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
14.06.2024 12:16:28 EEST

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Мармій антиплагіат

Кількість сторінок: 70 Кількість слів: 9880 Кількість символів: 76184 Розмір файлу: 2.86 MB ID файлу: 1016162145

1381 слово позначене як "вилучене" та не враховується у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 0.74% Схожість

Найбільша схожість: 0.27% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1016162146)

0.52% Джерела з Інтернету 46 ..... Сторінка 72

0.47% Джерела з Бібліотеки 6 ..... Сторінка 72

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 10 ..... Сторінка 72

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 2

Підозріле форматування 12 сторінок