

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-35>

УДК 681.5:696.2

МАРМІЙ Андрій

Хмельницький національний університет

СОКОЛАН Юлія

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0273-5719>

sokolan.julia@gmail.com

КОРЕЦЬКА Людмила

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4284-4936>

koretskal@khmnu.edu.ua

МАЙДАН Павло

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>

maidanps@gmail.com

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>

makaryshkinde@khmnu.edu.ua

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ ГАЗОПРОВОДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ

В роботі запропонована конструкція роботизованого обладнання, основне призначення якого полягає у інспекції газопроводів низького тиску. Оскільки сталевим газопроводам низького тиску характерний малий діаметр труб, який становить менше 100 мм, то основною вимогою, яка висувається до запропонованого робота є висока прохідність в площині труби при невеликих габаритних розмірах.

Досягнення дрібних габаритних розмірів у запропонованій конструкції робота досягається розподіленням керування локальними двигунами робота, на які надходять команди з головного контролера. Керування головним контролером передбачено через розроблену програму керування.

В роботі показані результати моделювання прохідності робота у трубах різного діаметру, які відповідають діаметрам газопроводів низького та середнього тиску, а також проведено моделювання прохідності робота при повороті труби та зменшенні діаметру труби. Результати моделювання показали проблеми при проходженні трубопроводів діаметром 116 мм, що відповідає газопроводам середнього тиску. Тобто, основне призначення запропонованої конструкції робота полягає саме у інспекції газопроводів низького тиску. Також в роботі наведені результати фактичної перевірки прохідності зібраного прототипу запропонованого робота для інспекції трубопроводів.

Ключові слова: робот, мікроконтролер, модуль керування, канал зв'язку, газопроводи низького тиску, неруйнівний контроль, інспекція газопроводів, сталеві трубопроводи.

MARMIY Andriy, SOKOLAN Iuliia,

KORETSKA Liudmyla, MAIDAN Pavlo, MAKARYSHKIN Denys

Khmelnitskyi National University

DEVELOPMENT OF A ROBOT DESIGN FOR INSPECTION OF LOW-PRESSURE GAS PIPELINES

During the manufacture of gas pipelines, a number of defects may occur that cannot be noticed before the gas pipeline is put into operation. The presence of such defects can lead to the deterioration of operational properties and the development of damage during operation. Such defects include dents, ovality, corrugations, etc. In addition, damage to gas pipelines can be caused by mechanical effects of the environment, for example, the spread of vibrations during the underground laying of gas pipelines under highways. Such damage includes the formation of cracks (longitudinal or transverse), abrasion of the pipeline, subsidence of pipes, corrosion, etc. There are a number of methods for detecting these defects and damages. One of the most common methods is the method of non-destructive control of pipelines and their inspection using specialized robotic equipment. The paper proposes the design of robotic equipment, the main purpose of which is to inspect low-pressure gas pipelines. Since low-pressure steel gas pipelines are characterized by a small pipe diameter of less than 100 mm, the main requirement for the proposed robot is high cross-country ability in the pipe plane with small overall dimensions. The achievement of small dimensions in the proposed robot design is achieved by distributed control of local robot motors, which receive commands from the master controller. The main controller is controlled through the developed control program.

The paper shows the results of modeling the robot's passability in pipes of different diameters corresponding to the diameters of low and medium pressure gas pipelines, as well as modeling the robot's passability when turning the pipe and reducing the pipe diameter. The modeling results showed problems with the passage of pipelines with a diameter of 116 mm, which corresponds to medium-pressure gas pipelines. That is, the main purpose of the proposed robot design is to inspect low-pressure gas pipelines. The paper also presents the results of the actual inspection of the passability of the assembled prototype of the proposed pipeline inspection robot.

Keywords: robot, microcontroller, control module, communication channel, low-pressure gas pipelines, non-destructive testing, gas pipeline inspection, steel pipelines.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Інженерне забезпечення населених пунктів виступає провідним компонентом у вирішенні ряду питань, до яких відносяться транспортні, архітектурно-будівельні, санітарно-гігієнічні та екологічні завдання [1]. До таких систем відносяться водопровідні, каналізаційні мережі, електропостачання, теплові та газові мережі. Газові мережі представляють собою технічний комплекс, призначений для транспортування горючих газів мережею трубопроводів [2].

При виготовленні газопроводів може виникнути ряд дефектів, які неможливо помітити до запуску газопроводу в експлуатацію. Наявність таких дефектів може в процесі експлуатації призвести до погіршення експлуатаційних властивостей та розвитку пошкоджень. До таких дефектів відносяться вм'ятини, овальність, гофри, тощо. Крім того, пошкодження в газопроводах можуть бути викликані механічними впливами навколишнього середовища, наприклад, поширення вібрацій при підземному прокладанні газопроводів під автомобільними дорогами. До таких пошкоджень відносяться утворення тріщин (поздовжніх чи поперечних), стирання трубопроводу, осідання труб, корозія тощо.

Існує ряд методів виявлення зазначених дефектів та пошкоджень. Одним із найбільш поширених методів є метод неруйнівного контролю трубопроводів та їх інспекції із використанням спеціалізованого роботизованого обладнання.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Для проведення неруйнівного контролю експлуатаційних властивостей та стану інженерних мереж та комунікацій використовується ряд роботизованого обладнання. Наприклад, для інспекції трубопроводів, виготовлених із чавуна і сталі була запропонована конструкція робота Pipeline Explorer (рис. 1, а). Принцип проведення неруйнівного контролю (НК) базується на візуальній інспекції внутрішньої поверхні трубопроводів, а керування здійснюється оператором за допомогою бездротового каналу зв'язку [3].

Враховуючи, що не всі ділянки трубопроводів можуть розміщуватись в горизонтальній площині, то для інспекції вертикально розміщених трубопроводів була розроблена конструкція TriTrax Crawler (рис. 1, б). За допомогою гусеничного руху в такого робота збільшується прохідність по похилим на вертикальним ділянкам трубопроводу. Оператор отримує дані по стану внутрішньої поверхні труби за допомогою відеопотоку, який передається від камери із підвищеною міцністю. Тому такі роботи часто використовуються для інспекції в умовах агресивного навколишнього середовища (наприклад, паропроводи, конденсатопроводи, тощо) [4].



а)



б)



в)

Рис. 1. Конструкції роботів для інспекції трубопроводів:
а - Pipeline Explorer; б – TriTrax Crawler; в - сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT

У випадку проведення ультразвукового НК можна використовувати сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT (рис. 1, в). Це обладнання призначене для проведення автоматизованого контролю експлуатаційних властивостей зварних з'єднань для деталей із діаметром від 4 до 40 мм [5]. Ефективним використання такого робота є лише у випадку радіусу кривизни зовнішньої поверхні, який становить менше 300 мм.

Газопроводи низького тиску (до 0,05 МПа) використовуються в Україні для постачання газу в першу чергу у житлові будинки побутовим споживачам. Саме тому протяжність газопроводів низького тиску в межах міста становить щонайменше 50% від загальної протяжності газопроводу. Оскільки діаметр труб у газопроводах низького тиску становить до 100 мм [6], то використання вищенаведеного роботизованого обладнання стає неможливим по причині великих габаритних розмірів.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є: розробка конструкції роботизованого обладнання, призначеного для неруйнівного контролю та інспекції газопроводів низького тиску.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На рис. 2 наведена запропонована конструкція робота для проведення інспекції та неруйнівного контролю експлуатаційних характеристик та стану внутрішньої поверхні газопроводів низького тиску, діаметр яких становить менше 100 мм. Враховуючи невеликий діаметр газопроводів, основна вимога, яку повинен задовольняти запропонований робот – це малі габаритні розміри при збереженні прохідності поверхнею трубопроводів.

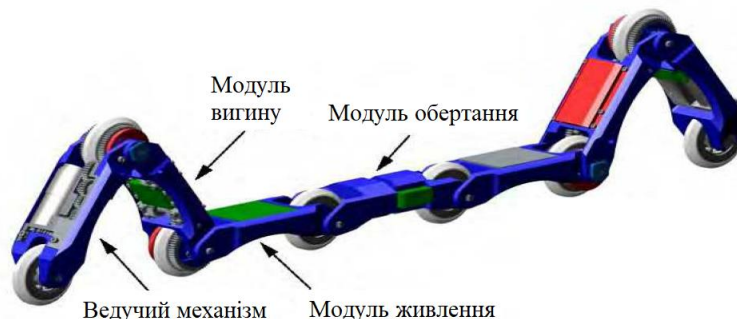


Рис. 2. Конструкція робота для інспекції газопроводів низького тиску

Конструкція робота передбачає використання 8 коліс, з яких 2 колеса є ведучими. Для фіксації робота в площині газопроводу передбачається використання V-подібної форми на першому і останньому модулі (рис. 2). Окрім 2 ведучих модулів, у запропонованій конструкції робота наявні 2 модулі вигину, 2 модулі корисного навантаження, а також модуль обертання. Позиціонування робота в площині трубопроводу та його рух виконується за рахунок роботи 7 двигунів (2 двигуни ведучих модулів, 1 двигун модулю обертання, 4 двигуни керування кутовими шарнірами).

Для керування роботом неможливо передбачити використання лише одного контролера по причині його великих розмірів у порівнянні із діаметром труби у 53 мм. Тому керування передбачається п'ятьма малогабаритними контролерами (рис. 3), призначених для керування окремими модулями, а також головним контролером для здійснення загального керування. Для керування головним контролером було розроблено програмне середовище, інтерфейс якого наведено на рис. 4. З'єднання локальних контролерів передбачається через комунікаційну I²C шину.

В якості основного контролера планується використовувати контролер на основі процесору ARM7, який містить датчик прискорення, радіомодуль для зовнішнього зв'язку, датчик температури та слот для карти пам'яті. Швидкість обробки даних таким контролером становить до млн оп/сек. Конструкція робота передбачає використання головного контролера LPC2148, який був інтегрований на плату керування, а також окремих локальних контролерів, які наведені на рис. 3. В якості приладу для збору інформації про стан внутрішньої поверхні трубопроводу передбачається використання оптичного датчику DAT233 (рис. 5).

Запропонований конструктивний дизайн дозволить роботу пересуватися через перешкоди, які трапляються в площині трубопроводів (наприклад, тріщини, нарости), а також долати вигини трубопроводів. Принцип пересування робота в площині труби наведено на рис. 6.

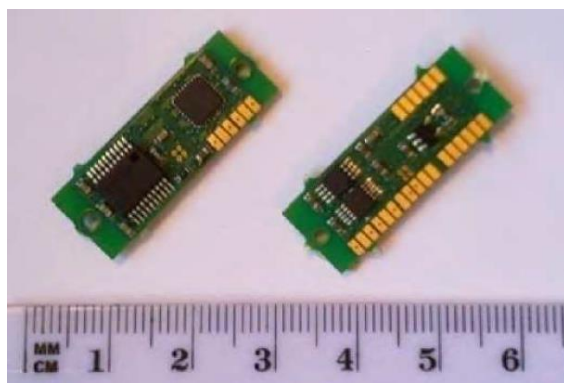


Рис. 3. Плата контролера робота

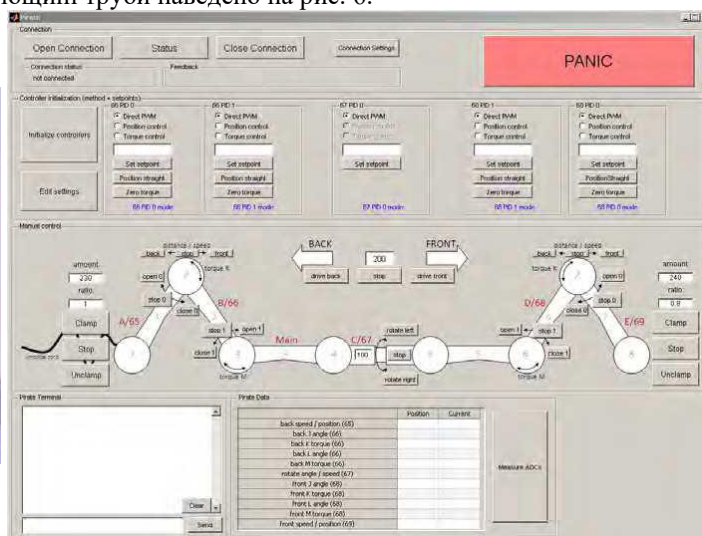


Рис. 4. Графічний інтерфейс керування роботом



Рис. 5. Оптичний датчик DAT233

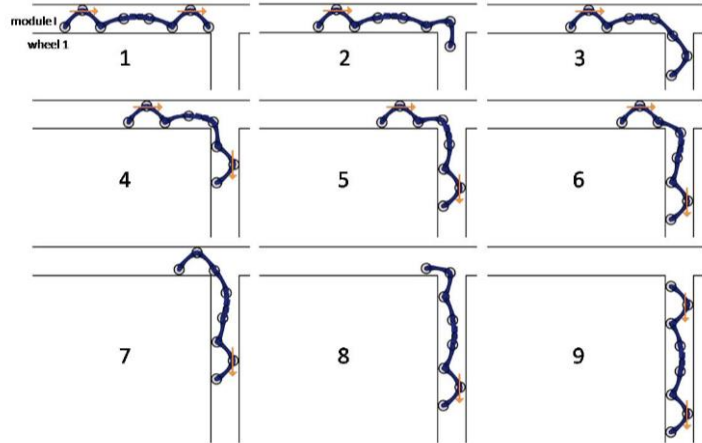


Рис. 6. Принцип переміщення роботу в площині труби

Оскільки газопроводам характерне підземне прокладання, а в якості матеріалу труб в основному використовується сталь, то для використання запропонованої конструкції роботу передбачається використання проміжних док-станцій. Ці док-станції будуть призначені для посилення каналу зв'язку та в якості проміжної ланки передачі даних від робота до оператора, який проводить інспекцію газопровода.

Для передачі даних від локального контролера використовується I²S шина. Після цього на док-станцію йде передача даних про вектор стану. Ці дані, в свою чергу, передаються на комп'ютер керування, за яким працює оператор. Для обробки інформації була створена керуюча програма Терміт, отримання даних від робота наведені на рис. 7.

Для перевірки прохідності запропонованої конструкції робота було проведено моделювання його прохідності. В якості програмного забезпечення для моделювання було обрано програму V-Rep від швейцарської компанії Coppelia Robotics. Основною причиною вибору такого програмного забезпечення був достатньо широкий функціонал при повністю безкоштовному використанні програми для некомерційних цілей.

Для початку симуляція прохідності була проведена на прямих ділянках трубопроводів (рис. 8). В якості діаметрів трубопроводів було обрано найбільш поширені в системах газопроводів діаметри, а саме:

- 56 мм (газопроводи низького тиску);
- 86 мм (газопроводи низького тиску);
- 116 мм (газопроводи середнього тиску).

COM2 115200 bps, 8N1, no handshake																								
486	705	468	115	857	612	837	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	110	857	612	837	394	707	696	901	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	705	468	110	857	612	838	394	707	696	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
484	704	468	109	859	612	838	394	707	696	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	469	110	859	612	838	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	110	857	612	837	398	707	696	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	469	110	857	612	837	394	707	696	900	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	469	110	857	612	840	394	707	696	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	468	110	857	612	840	394	707	696	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
487	704	468	110	857	612	840	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	468	110	857	612	836	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	468	110	857	612	839	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	705	469	110	857	611	839	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	468	110	857	611	839	394	707	696	900	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	110	857	612	839	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	469	109	857	612	838	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	705	469	109	857	612	838	394	707	696	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	109	857	611	845	394	707	696	903	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	705	468	109	858	611	837	394	707	696	895	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	110	857	612	837	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	705	468	112	857	612	837	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	468	112	857	612	837	394	707	696	896	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	468	110	857	612	837	393	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	468	110	857	612	838	394	707	696	899	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	469	109	857	615	838	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	703	469	109	857	612	838	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	468	110	857	612	838	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	468	110	857	612	845	396	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
486	704	469	110	858	612	845	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
485	704	468	110	858	612	837	394	707	696	898	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
400	704	400	110	037	212	037	394	707	030	030	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	10	10	10	10	11
486	704	460	110	037	612	037	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	10	10	10	10	11
486	704	469	110	857	612	837	394	707	696	897	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11
487	704	468	110	857	612	837	394	707	696	894	1023	-17	1	-16	0	0	0	0	0	18	18	18	18	11

Рис. 7. Керуюча програма

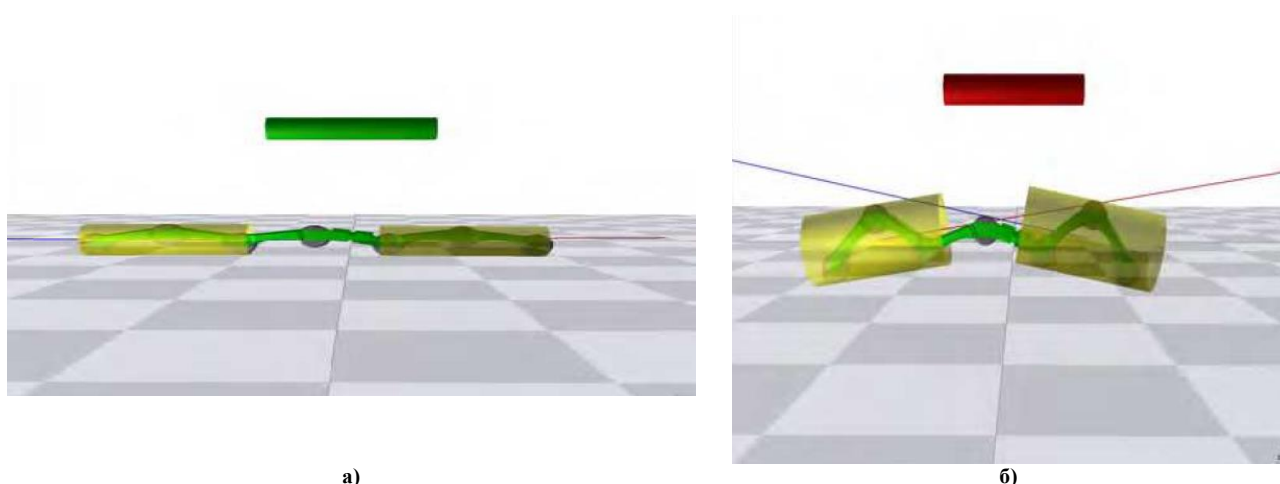


Рис. 8. Моделювання прохідності робота у трубопроводах: а – діаметр труби 56 мм; б – діаметр труби 116 мм

Як видно з рис. 8, при моделюванні прохідності для труб діаметром 56 та 86 мм моделювання дало позитивні результати, в той час як прохідність у трубі діаметром 116 мм (рис. 8, б) мала певні проблеми. Діаметр труби 116 мм відповідає вже газопроводам середнього тиску, оскільки газопроводи низького тиску в Україні мають діаметр труб до 100 мм. Тому вважається, що такий робот призначений лише для інспекції газопроводів низького тиску.

Аналогічним чином було проведено моделювання прохідності робота у випадку повороту труби (рис. 9, а) та у випадку зменшення діаметру труби з 86 до 56 мм (рис. 9, б).

Оскільки в результаті моделювання було отримано позитивні результати, наступним етапом стала фактична перевірка прохідності прототипу запропонованої конструкції робота. Для перевірки була обрана прозора труба відповідних діаметрів (56 та 86 мм). Керування роботом виконується за допомогою графічного інтерфейсу користувача (рис. 4), який при успішній обробці команд відправляє у керуючу програму дані про координати розташування робота (рис. 8). Команди із графічного інтерфейсу передаються на головний контролер, який, через шину зв'язку, передають відповідні команди на локальні контролери двигунів (рис. 3).

На рис. 10 наведено результати прохідності прототипу робота. Як видно з рис. 10, фактична перевірка прохідності та отримані результати відповідають прохідності, яка була отримана за допомогою моделі (рис. 9). Тобто, використання такої конструкції робота для інспекції трубопроводів низького тиску є реально можливим.

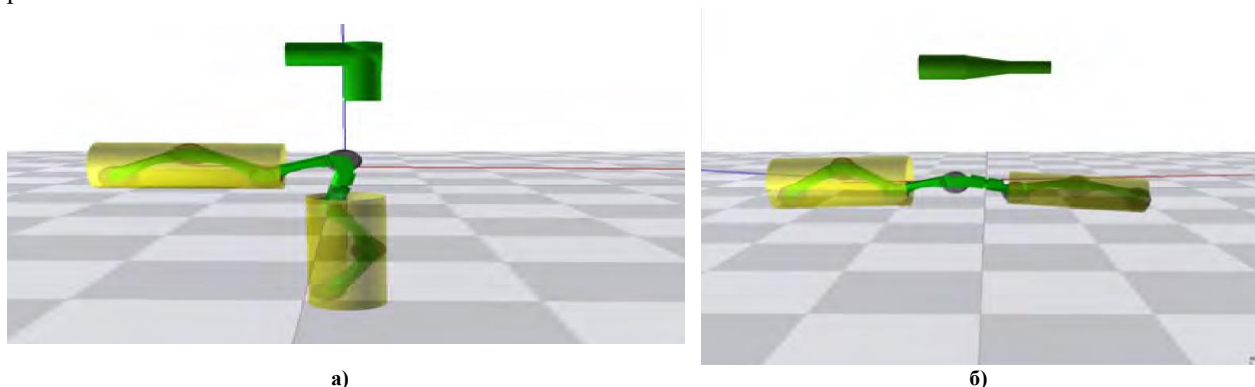


Рис. 9. Моделювання прохідності робота: а – поворот труби; б – зміна діаметру з 86 до 56 мм

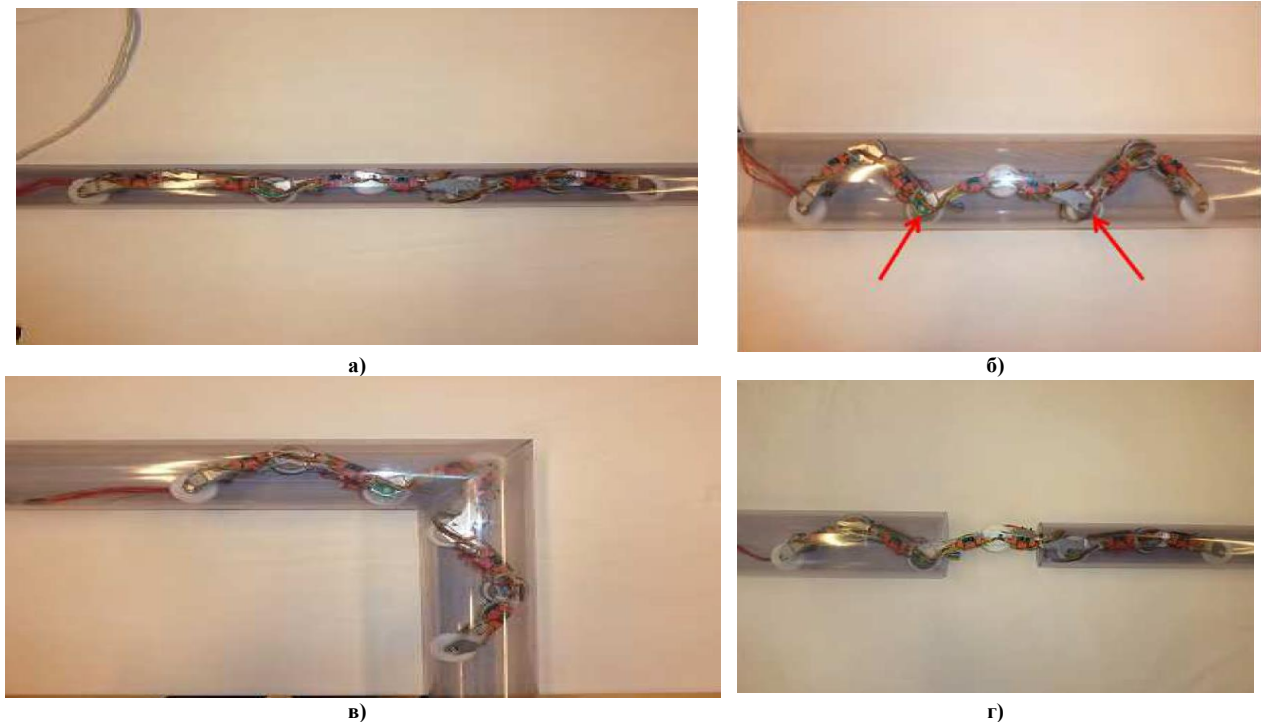


Рис. 10. Фактична перевірка прохідності робота для інспекції газопроводів:
а, б – прямі ділянки труб діаметром 56 та 116 мм відповідно; в – поворот труби; г – зменшення діаметру труби

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В роботі запропонована конструкція робота, який може використовуватись для проведення інспекції трубопроводів малого діаметру, який лежить в межах від 50 до 100 мм. Такі діаметри трубопроводів характерні газопроводам низького тиску. Було проведено моделювання та фактичну перевірку прохідності робота у трубопроводах діаметром 56, 86 та 116 мм. В результаті моделювання та фактичної перевірки було встановлено, що зменшується прохідність робота у трубопроводі діаметром 116 мм, що відповідає газопроводам середнього тиску. Тобто, основним призначенням запропонованої конструкції робота буде неруйнівний контроль стану внутрішніх поверхонь газопроводів низького тиску з метою виявлення пошкоджень та дефектів.

Література

1. Ткачук А.О. Міські інженерні мережі: навчальний посібник /А. О. Ткачук – Рівне: НУВГП, 2015. – 412 с.
2. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. – Київ, Мінрегіон України. – 2019. – 113 с.
3. 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
4. TriTrax. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://industry.hlr.ua/ru/nodestructtest/robotic-control/tritrax/>
5. Сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://xn--90anfscfbd.com.ua/ua/p770367424-skaner-defektoskop-a2051.html>
6. Соколан Ю.С. Інженерне обладнання будівель. Навчальний посібник для студентів, що навчаються за спеціальністю 191 Архітектура та містобудування / Ю.С. Соколан. – Хмельницький. – 2022. – 226 с.

References

1. Tkachuk A.O. Urban engineering networks: a textbook /A. O. Tkachuk - Rivne: NUWHP, 2015. - 412 p.
2. DBN V.2.5-20:2018 Gas Supply. - Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine. - 2019. - 113 p.
3. Karabegovic I. The trend of application of service robots for inspection, planned maintenance and removal of disruption in piping systems / I. Karabegovic, P. Dasic // Scientific Bulletin of IFNTUOG. - №2 (51), 2021. - p. 40-46
4. TriTrax. [Electronic resource]. – Access mode: <https://industry.hlr.ua/ru/nodestructtest/robotic-control/tritrax/>
5. Flaw detector scanner. [Electronic resource]. – Access mode: <https://xn--90anfscfbd.com.ua/ua/p770367424-skaner-defektoskop-a2051.html>
6. Sokolan Yu.S. Engineering equipment of buildings. Study guide for students majoring in 191 Architecture and Urban Planning / Yu.S. Sokolan. - Khmelnytsky, 2022. - 226 p.