

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення мобільного робота для зовнішнього обстеження
герметичності газопровідних труб

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи КА-41

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гриневич Я. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Савків В. Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В. Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В. Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Станько А. А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці мобільного робота для зовнішнього обстеження газових труб.

Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини, що включає ілюстративний матеріал – слайди.

Об'єм графічної частини складає 8 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки – 61 друкованих сторінок формату А4.

У роботі нараховується 25 рисунків та 3 таблиці з даними.

Використано 15 літературних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи було створення мобільного робота, який може автономно пересуватися вздовж газопроводів та виконувати комплексний аналіз їх стану за допомогою інтегрованих сенсорів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та визначено основні завдання дослідження.

В аналітичній частині проаналізовано вплив дефектів на газопроводи, проведено огляд існуючих методів обстеження та технологій, що використовуються в мобільних роботах. Також розглянуто традиційні та сучасні методи неруйнівного контролю, включаючи ультразвукові зонди та рентгенографію.

Проектна частина включає розробку структурної схеми робота, вибір необхідних компонентів, таких як сенсори для виявлення дефектів, акумулятори та системи керування. Особливу увагу приділено вибору та інтеграції сенсорів для точного виявлення дефектів, розробці алгоритму роботи та електричної схеми підключень. Також здійснено 3D проєктування мобільного робота у програмі SolidWorks.

У спеціальній частині представлено програмне забезпечення робота, детально описано процес підключення елементів та методи керування.

Висновки підсумовують виконану роботу, досягнення мети та перспективи подальшого розвитку проєкту.

Ключові слова: МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, НК, ГАЗОПРОВІД, АРДУІНО (ARDUINO), УЛЬТРАЗВУКОВІ ДАТЧИКИ, АВТОНОМНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, БЕЗПЕКА.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ШІМ – широко імпульсна модуляція,

NDT – nondestructive testing,

НК – неруйнівний контроль,

АГП – автогідропідйомник,

САПР – автоматизована система проєктування,

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз актуальності обстеження газових труб	8
1.2 Аналіз наявних методів для обстеження газових труб.....	8
1.3 Технології, що використовуються в роботах для обстеження газових труб 11	
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	13
2.1 Розробка структурної схеми	13
2.2 Вибір компонентів мобільного робота	13
2.3 Вибір акумулятора.....	23
2.4 Виявлення тріщин за допомогою ультразвукових приладів.....	27
2.5 Підключення ручного керування	30
2.6 Налаштування підключення	31
2.7 Розробка алгоритму роботи.....	34
2.8 Розробка електричної схеми підключень.....	35
2.9 3D проєктування мобільного робота у програмі SolidWorks	37
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	42
3.1 Програмування робота	42
3.2 Програмування контролера	51
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
4.1 Надання домедичної допомоги при ураженні електричним струмом	54
4.2 Пожежна безпека під час роботи з мобільним роботом для обстеження герметичності газових труб	57
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Прогрес у галузі робототехніки значно сприяє підвищенню ефективності та безпеки операцій у небезпечних і важкодоступних середовищах. Особливо помітний вплив цих технологій спостерігається в сфері інспекції газових трубопроводів, де застосування мобільних роботів суттєво знижує ризики та забезпечує постійний моніторинг стану інфраструктури. Варто зазначити, що традиційні методи обстеження часто вимагають призупинення експлуатації трубопроводів та залучення людських ресурсів, що призводить до збільшення часових і фінансових витрат, а також потенційно наражає персонал на небезпеку [3].

В останні роки особлива увага приділяється розробці мобільних роботів, здатних виконувати автономні та напівавтономні місії з обстеження газових труб. Ці роботи оснащуються різноманітними сенсорами, що дозволяють виявляти корозію, тріщини, механічні пошкодження та витоки газу з високою точністю та ефективністю [4,10,11]. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як ультразвукові датчики, газоаналізатори та системи дистанційного керування, такі роботи можуть гарантувати своєчасне виявлення та усунення дефектів, що суттєво підвищує безпеку експлуатації трубопроводів.

Метою даної роботи є розробка прототипу мобільного робота для зовнішнього обстеження газових труб. Цей робот повинен мати можливість автономного пересування вздовж трубопроводів, виконуючи комплексний аналіз їх стану за допомогою інтегрованих сенсорів. Основними завданнями дослідження є:

- Аналіз існуючих методів та прототипів мобільних роботів для обстеження газових труб.
- Розробка структурної схеми мобільного робота та вибір відповідних комплектуючих.

- Вибір та інтеграція необхідних сенсорів для забезпечення точного виявлення дефектів.
- Розробка автоматизованої системи керування роботом на базі сучасного одноплатного комп'ютера.
- Створення інтуїтивно зрозумілого методу керування для оператора, що дозволить ефективно керувати роботом.

Результати цієї роботи мають продемонструвати можливість створення ефективного, дешевого та надійного мобільного робота, який здатен суттєво покращити процес обстеження газових труб, зменшуючи ризики для людей та підвищуючи загальну безпеку експлуатації трубопроводів. Використання таких роботів може призвести до значної економії часу та ресурсів, а також забезпечити оперативне реагування на виявлені дефекти, що сприятиме підвищенню надійності газорозподільних систем.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз актуальності обстеження газових труб

Систематичний контроль стану газових труб лежить в основі безпечного та ефективного функціонування газотранспортних мереж. Протягом багатьох років для обстеження використовувалися різні методи, включаючи ручні інспекції та неруйнівні методи контролю. Однак із розвитком технологій з'явилися мобільні роботи, які значно підвищують ефективність і точність обстежень.

Природний газ, що транспортується трубопроводами, є стратегічним ресурсом для енергетичного сектору, промисловості та побутових споживачів. [1] Несправності чи витoki в газопровідних системах можуть спричинити серйозні наслідки, включаючи аварії, пожежі та вибухи. З огляду на це, систематичні обстеження набувають пріоритетного значення для виявлення корозійних процесів, тріщин, механічних ушкоджень та витоків. Такі заходи не лише запобігають аваріям та мінімізують ризики для населення й довкілля, але й сприяють подовженню терміну експлуатації газопроводів завдяки своєчасному виявленню та усуненню дефектів. Крім того, регулярні перевірки оптимізують функціонування газорозподільних мереж, підвищуючи їх загальну ефективність.

1.2 Аналіз наявних методів для обстеження газових труб

НК (NDT) є стандартним способом оцінки якості промислових труб. У цьому сценарії ультразвукові зонди використовуються для визначення товщини стінки поверхні, щоб довести цілісність матеріалу без порушення його внутрішньої структури [12, 21-25]. Ці випробування проводяться шляхом розміщення людиною інспекційного зонда у фіксованому контакті з поверхнею, що досліджується. Крім того, трубопроводи зазвичай згруповані в сталеві

каркасні конструкції, що називаються естакадами, які, як правило, встановлюються на високих місцях, щоб забезпечити легкий доступ для огляду і технічного обслуговування та зберегти земельну ділянку на промислових підприємствах. В цей час вимірювання НК виконуються людьми, які повинні підійматися на високі риштування, щоб дістатися до місця інспекції за допомогою таких інструментів, як підйомники, АГП або канатні системи доступу [1, 24-28]. Тому вдосконалення операцій цих значно підвищить безпеку людини та зменшить економічні витрати, пов'язаних з процедурами контролю (наприклад, встановлення риштувань, тривала зупинка заводу тощо).

Традиційні методи обстеження газових труб включають ручну інспекцію, використання ультразвукових приладів та рентгенографію [2, 31]. Однак ці методи мають кілька обмежень, зокрема високу вартість та тривалість



Рис. 1.1 Ручна інспекція
газових труб

обстеження, необхідність зупинити експлуатацію газопроводу.

Більшість мобільних роботів, призначених для обстеження газових трубопроводів, спеціалізуються на виконанні завдань всередині труб. Ці роботи в основному використовуються для виявлення дефектів і можуть бути оснащені різними типами сенсорів і інструментів.

Основні переваги використання внутрішніх роботів полягають у їх здатності до обстеження важкодоступних ділянок трубопроводів [10, 22], що

забезпечує більш повне охоплення і аналіз стану труб. Крім того, такі роботи забезпечують високу точність виявлення навіть найдрібніших дефектів, завдяки використанню високочутливих сенсорів.



Рис. 1.2 TriTrah - гусеничний робот для обстеження важкодоступних місць внутрішнього контролю труб

Здатність віддаленого керування зовнішніми роботами значно знижує необхідність в людській присутності під час проведення інспекцій, тим самим мінімізуючи ризики для здоров'я та безпеки співробітників [11, 25]. Це особливо актуально у випадках, коли трубопроводи розташовані у важкодоступних або небезпечних умовах, наприклад, у глибоких колодязях або на висоті, де доступ людини є обмеженим або небезпечним.

Додатково, зовнішні роботи дозволяють швидко і ефективно реагувати на потенційні загрози безпеці, такі як витіки чи інші вади у трубопроводі. Оперативне виявлення і оцінка стану підозрілих ділянок зменшує час відгуку на небезпеку і сприяє швидкому вирушенню екіпажів для вжиття необхідних заходів.

Такі роботи можуть швидко пересуватися вздовж трубопроводу, обстежуючи великі ділянки за короткий час. Вони також можуть бути оснащені різними сенсорами для виявлення корозії, механічних пошкоджень, витоків газу та інших дефектів, що робить їх багатофункціональними. Використання зовнішніх роботів знижує ризик для персоналу, оскільки немає потреби

проводити ручні інспекції в потенційно небезпечних умовах, а натомість керувати віддалено.

1.3 Технології, що використовуються в роботах для обстеження газових труб

Мобільні роботи, призначені для обстеження герметичності газових труб, використовують широкий спектр передових технологій, що забезпечують ефективність, точність та безпеку проведення інспекцій. Використання акустичних сенсорів дозволяють виявляти витoki газу за допомогою аналізу звукових хвиль. Ці сенсори реєструють специфічні звукові коливання, що виникають під час витoku газу, і на основі отриманих даних визначають місце пошкодження [14, 22]. Акустичні сенсори забезпечують високий рівень точності та можуть бути інтегровані як у стаціонарні, так і в мобільні платформи.

Інфрачервона спектроскопія посідає чільне місце серед технологій, що інтегруються в мобільні роботи для інспекції трубопроводів. Ця методика базується на використанні інфрачервоного випромінювання для виявлення газових витоків. Специфічні зміни в спектрі інфрачервоного випромінювання, спричинені витоками газу, дозволяють з високою точністю локалізувати проблемні ділянки [15, 28-30]. Оснащення роботів, що рухаються вздовж трубопроводів, інфрачервоними сенсорами забезпечує комплексний та безперервний моніторинг.

Не менш значущу роль у арсеналі мобільних роботів відіграють ультразвукові методи. Ультразвукові сенсори здатні виявляти внутрішні дефекти трубопроводів, такі як тріщини або корозійні ураження, аналізуючи характеристики відбитих ультразвукових хвиль. Ця технологія демонструє високу ефективність у виявленні як мікротріщин, так і інших потенційно небезпечних дефектів, які можуть компрометувати герметичність трубопровідних систем [7, 26-30].

Електрохімічні сенсори представляють собою альтернативний метод для оцінки герметичності газових трубопроводів, функціонуючи на основі складних електрохімічних реакцій. У процесі діагностики, спеціалізований електрод, інтегрований у конструкцію сенсора, встановлюється безпосередньо на поверхні трубопроводу, забезпечуючи тісний контакт із досліджуваним об'єктом. Цей електрод вступає в хімічну взаємодію з різноманітними активними речовинами, природньо присутніми в навколишньому середовищі, зокрема з розчиненими іонами металів.

Корозійні процеси, що відбуваються в металевих конструкціях, призводять до вивільнення іонів, які, в свою чергу, вступають в електрохімічну реакцію з електродом сенсора [16]. Ця взаємодія індукує генерацію електричних сигналів або викликає флуктуації електричного потенціалу на поверхні електрода. Шляхом прецизійного вимірювання змін електричних параметрів, таких як сила струму або величина потенціалу, сенсор здатний з високою точністю визначати концентрацію металевих іонів у прилеглому середовищі. Важливо відзначити, що інтенсивність зміни сигналу, що реєструється сенсором, прямо пропорційна концентрації іонів металу, що дозволяє не лише виявляти наявність корозії, але й оцінювати її масштаби та динаміку розвитку.

Крім того, мобільні роботи часто використовують комбіновані системи сенсорів, що дозволяють отримувати максимально повну інформацію про стан трубопроводів. Наприклад, робот може бути оснащений одночасно акустичними, інфрачервоними та ультразвуковими сенсорами, що забезпечує комплексний підхід до обстеження та підвищує загальну точність і надійність діагностики.

2.1 Розробка структурної схеми

При розробці цієї системи була приділена тому, щоб зробити систему простою, надійною та ефективною. Тому для нашого мобільного робота для обстеження газопроводів був прийнятий модульний підхід, що відображається у його структурній організації [8]. Цей підхід полягає в тому, що система складається з незалежних модулів, які можна легко замінювати або модернізувати. Кожен модуль відповідає за конкретну функціональність робота. Ця схема, зазначена на рисунку 2.1, містить в собі ключові компоненти, які працюють у взаємодії для досягнення максимальної точності та

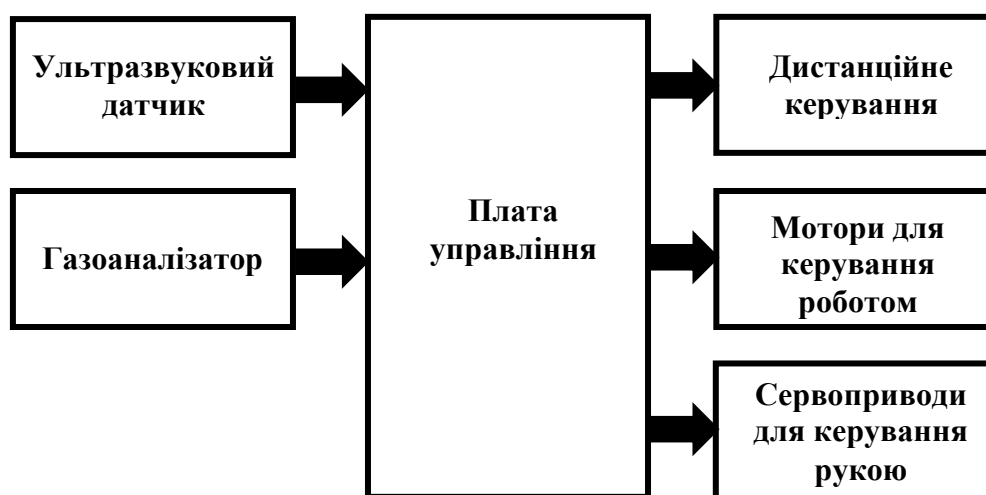


Рис. 2.1 Структурна схема мобільного робота

продуктивності під час обстежень.

2.2 Вибір компонентів мобільного робота

Детально розглянемо процес вибору основних компонентів, необхідних для створення мобільного робота, спеціально розробленого для зовнішнього обстеження газових труб. Кожен з обраних компонентів ретельно аналізується з точки зору його функціональних можливостей, впливу на загальну

продуктивність системи та його здатності забезпечувати високу надійність роботи в різних умовах експлуатації.

Спершу проводиться детальний аналіз умов експлуатації мобільного робота, включаючи можливі перепони, змінні погодні умови та специфічні вимоги до обстеження газових труб [11]. На основі цього аналізу визначаються ключові характеристики, якими повинні володіти компоненти, такі як датчики, приводи, системи навігації та комунікаційні модулі. Особлива увага приділяється вибору датчиків, здатних точно виявляти витіки газу та інші потенційні проблеми.

Комунікаційні модулі обираються для забезпечення надійного зв'язку робота з оператором та іншими пристроями.

2.2.1 Плата управління Arduino Mega 2560

Центральним компонентом системи є плата, яка забезпечує достатню обчислювальну потужність та можливість керування великою кількістю модулів робота. Вона служить основою та «мозком» проєкту, дозволяючи програмувати логіку роботи робота та обробляти дані з сенсорів.

Важливою перевагою плати є її функціональність. Вона оснащена потужним мікроконтролером Atmega2560, який забезпечує достатньо обчислювальних ресурсів для реалізації складних алгоритмів і керування різними пристроями [6]. Плата також має велику кількість цифрових та аналогових входів/виходів, що дозволяє підключати різні сенсори, виконавчі механізми та інші периферійні пристрої.



Рис. 2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 підтримує різноманітні програмні бібліотеки та Arduino IDE, що спрощує процес програмування та розробки. Вона також сумісна з великою кількістю розширень та модулів, що дозволяє розширювати функціональність та можливості системи. Вона має досить низьку вартість і широко доступна на ринку.

2.2.2 Ультразвуковий сенсор

Для вимірювання відстані до об'єктів за допомогою ультразвукових хвиль широко застосовується популярний сенсор HC-SR04. Цей пристрій функціонує за принципом випромінювання короткого ультразвукового імпульсу та подальшого вимірювання часу, необхідного для повернення відбитого сигналу. Конструктивно сенсор складається з двох ключових компонентів: передавача та приймача ультразвукових хвиль. Завдяки своїй ефективності та точності, HC-SR04 став стандартним вибором для багатьох проєктів, де потрібне безконтактне визначення дистанції.



Рис. 2.3 Ультразвуковий сенсор HC-SR04

У проєкті цей сенсор використовується для виявлення дефектів, механічних пошкоджень, тріщин або нерівностей на поверхні труби. Він випромінює ультразвукові імпульси, які відбиваються від поверхні труби та в разі наявності дефекту відбитий сигнал змінює час повернення або інтенсивність [5], що дозволяє сенсору виявляти нерівності або тріщини.

Arduino, який використовується як основний контролер, отримує дані від ультразвукового сенсора і обробляє їх. Програмне забезпечення аналізує час повернення сигналу і визначає відстань до поверхні труби. При виявленні відхилень система інтерпретує це як можливий дефект і ініціює відповідні дії, такі як сповіщення оператора або зупинка роботи для детальнішого обстеження. Завдяки своїй точності вимірювання відстані, сенсор дозволяє виявляти навіть незначні дефекти на поверхні труб, що сприяє підтримці безпеки та функціональності газових трубопроводів.

Таким чином, ультразвуковий сенсор HC-SR04 у складі мобільного робота забезпечує надійне виявлення дефектів у залізних трубах, що сприяє проведенню більш детального та безпечного обстеження газових трубопроводів.

2.2.3 Мотори для керування роботом

Електромотор GA12-N20 є компактным, але потужним двигуном, який часто використовується в робототехніці завдяки своїм характеристикам та надійності. Цей мотор має номінальну швидкість 200 обертів на хвилину (RPM), що робить його ідеальним для застосувань, де потрібна точність та контрольованість руху.

Також цей електромотор працює від напруги 5 V, що дозволяє легко інтегрувати його в схему живлення. Використання такої напруги є стандартним для багатьох електронних компонентів, що спрощує конструкцію і знижує



Рис. 2.4 Електромотор GA12-N20

вимоги до складності джерела живлення.

Крім того, компактні розміри та низька вага мотора GA12-N20 покращують загальну маневровість та мобільність робота [5]. Це особливо важливо в умовах обмеженого простору, яким є зовнішня частина газових труб. Мотор також має достатній момент, щоб подолати нерівності та забезпечити стабільне зчеплення коліс з поверхнею труби.

Загалом, електромотор GA12-N20 є ідеальним вибором для мобільних роботів. Його технічні характеристики, такі як робоча напруга 5V і швидкість 200 RPM, забезпечують оптимальну продуктивність та надійність у виконанні завдань, пов'язаних з обстеженням та моніторингом трубопроводів.

2.2.4 Сервопривід для керування маніпулятором

Сервопривід FS90R є невеликим, але потужним компонентом, який широко використовується в робототехніці для управління рухом. Цей сервопривід, на відміну від стандартних, спеціалізується на безперервному обертанні, що робить його ідеальним для використання у роботах, які потребують обертальних механізмів. У нашому проєкті мобільного робота для зовнішнього обстеження газових труб, сервопривід FS90R буде використовуватись у руці для наведення датчиків на конкретну ділянку труби.



Рис. 2.5 Сервопривід FS90R

Сервопривід FS90R має вбудований двигун постійного струму з редуктором, який забезпечує необхідний крутний момент та швидкість. Він оснащений електронною схемою керування, яка приймає сигнал ШІМ від

контролера Arduino, і регулює швидкість та напрямок обертання. Залежно від ширини імпульсу, сервопривід може обертатися вперед або назад з різною швидкістю, що забезпечує високу точність управління. Завдяки своїм характеристикам, FS90R добре підходить для використання в руці, де потрібна точність і надійність обертальних рухів для наведення датчиків.

Серед переваг цього сервоприводу варто відзначити, що він працює на живленні 5V, що робить його сумісним із загальною схемою живлення нашого робота. Це значно спрощує інтеграцію сервоприводу з іншими компонентами та знижує вимоги до додаткових джерел живлення.

2.2.5 Газоаналізатор MQ-2

Газоаналізатор MQ-2 є популярним сенсором, який використовується для виявлення різних газів, таких як пропан, метан, бутан, водень, а також дим. Цей сенсор працює на принципі зміни електропровідності у присутності газу.

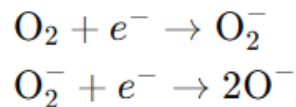


Рис. 2.6 Газоаналізатор MQ-2

Електропровідність матеріалу визначається здатністю електронів або іонів пересуватися через нього під дією електричного поля. В присутності вибухонебезпечних газів, таких як метан (CH_4), бутан (C_4H_{10}), пропан (C_3H_8) і дим, відбувається зміна електропровідності певних матеріалів, зокрема напівпровідникових сенсорів, які використовуються у газоаналізаторах.

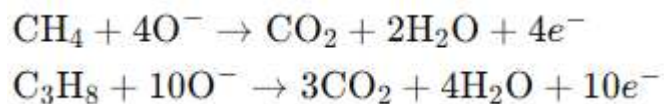
Газоаналізатори типу MQ-2 використовують напівпровідникові матеріали які є чутливим до присутності певних газів, наприклад діоксид олова (SnO_2). У чистому повітрі цей матеріал має високу електропровідність через наявність

вільних електронів, проте коли на поверхню SnO_2 адсорбуються молекули кисню, вони захоплюють електрони з матеріалу, утворюючи негативно заряджені іони кисню (O_2^- , O^- , O^{2-}):



Ці іони перешкоджають руху вільних електронів, зменшуючи електропровідність сенсора [17].

Коли в атмосфері з'являються молекули горючих газів, таких як метан, бутан чи пропан, вони взаємодіють з адсорбованими іонами кисню на поверхні SnO_2 . Ці гази відновлюють іони кисню до молекулярного стану, що вивільняє електрони назад у матеріал:



Цей процес призводить до збільшення концентрації вільних електронів, а отже, підвищує електропровідність сенсора.

Газоаналізатор MQ-2 працює на основі напівпровідникового сенсора, виготовленого з діоксиду олова (SnO_2), який підігрівається до робочої температури (300-500 °C) для ефективної роботи. При підвищеній температурі молекули кисню адсорбуються на поверхні SnO_2 , утворюючи негативно заряджені іони кисню. В присутності вибухонебезпечних газів, таких як метан, бутан або пропан, ці гази взаємодіють з адсорбованими іонами кисню, відновлюючи їх до молекулярного стану і вивільняючи електрони. Це збільшує електропровідність сенсора, що фіксується як зміна електричного сигналу. Цей сигнал далі обробляється платою Arduino Mega 2560, що дозволяє визначити концентрацію газу в повітрі. MQ-2 широко використовується в системах безпеки для виявлення витоків газів у житлових та промислових приміщеннях. Завдяки своїй здатності виявляти низькі концентрації газів, цей сенсор ефективно запобігає аварійним ситуаціям, попереджуючи про небезпеку вибуху або пожежі.

Програмне забезпечення на базі Arduino дозволяє налаштувати чутливість сенсора, встановити пороги спрацьовування та обробляти сигнал для подальших дій. Завдяки цьому, робот може ефективно і точно визначати місця можливих витоків газу, що робить процес обстеження більш безпечним та надійним.

2.2.6 Модуль Bluetooth для дистанційного керування

Для зв'язку та підключення до ручного керування у проєкті мобільного робота був обраний Bluetooth модуль HC-05. Цей модуль забезпечує відкриває широкий спектр можливостей для дистанційного керування та обміну даними.



Рис. 2.7 Bluetooth модуль HC-05

HC-05 – це компактний та економічно вигідний Bluetooth модуль, який пропонує достатню продуктивність та функціональність для реалізації Bluetooth зв'язку. Він оснащений мікроконтролером та вбудованою антеною, що забезпечує його автономну роботу. Він також може використовуватися для збору даних з різних сенсорів на роботі, таких як відстань, температура, вологість та інші сенсори. Зібрані дані можуть бути передані на інший пристрій або комп'ютер для подальшого аналізу та обробки. Проте перед тим, як використовувати модуль Bluetooth для керування роботом, його потрібно налаштувати. Це включає підключення модуля до робота, встановлення з'єднання з керуючим пристроєм та конфігурацію параметрів зв'язку.

Однією з особливостей цього модуля є можливість підключення зовнішньої антени для покращення зони покриття Bluetooth сигналу. Вибір все

направленої антени буде оптимальним рішенням, оскільки забезпечує рівномірне покриття у всіх напрямках, що дозволить підтримувати зв'язок при різних положеннях оператора відносно робота.

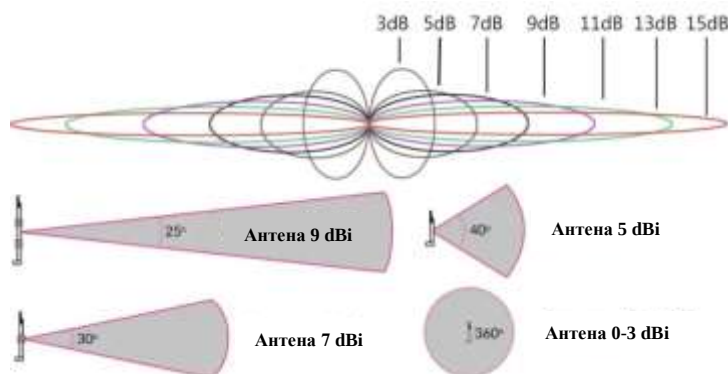


Рис. 2.8 Параметри напрямку сигналу антен

Визначення коефіцієнта підсилення в 3 dBi є компромісним рішенням між дальністю дії та шириною діаграми направленості [18]. Такий коефіцієнт забезпечує помірне збільшення радіуса дії без значного звуження діаграми направленості.



Рис. 2.9 Приклад зовнішньої антени 3 dBi

2.2.7 Регульований модуль напруги LM2596S DC-DC

LM2596S — це DC-DC регулювальний модуль напруги, який широко використовується в різноманітних електронних пристроях, зокрема в робототехніці. Він призначений для перетворення вхідної напруги в діапазоні



Рис. 2.10 Знижуючий модуль напруги LM2596S DC-DC

від 4.5V до 40V до нижчої стабільної вихідної напруги, яку можна регулювати від 1.23V до 37V залежно від потреби.

У контексті проєкту, LM2596S використовується для зниження напруги з акумулятора, який забезпечує 12V, до необхідної напруги для роботи моторів та сервоприводів, які працюють при 5V.

Застосування цього модуля дозволяє оптимізувати енергоспоживання моторів, що набуває особливого значення для автономних систем з обмеженим запасом енергії. Можливість точного налаштування вихідної напруги забезпечує відповідність специфікаціям різних компонентів, підвищуючи загальну продуктивність та надійність системи. Додатковою перевагою є зменшення тепловиділення. Це дозволить нам запобігти перегріву в умовах компактних робототехнічних конструкцій, де ефективне управління температурним режимом безпосередньо впливає на довговічність та надійність



Рис. 2.11 Принцип роботи
LM2596S DC-DC

усієї системи.

Двигуни та сервоприводи створюють значні електромагнітні перешкоди через високі струми та швидкі зміни навантаження під час роботи. Відокремлення їх живлення від живлення датчиків та Arduino за допомогою окремого LM2596S знижує рівень цих перешкод, які можуть негативно впливати на точність вимірювань і роботу мікроконтролера.

Таким чином, використання LM2596S у нашому проєкті забезпечить стабільне живлення моторів та сервоприводів, що дозволить роботу ефективно виконувати завдання, підтримуючи при цьому енергоощадний режим роботи.

2.3 Вибір акумулятора

Правильний вибір акумулятора суттєво впливає на ефективність мобільного робота. Основне призначення акумулятора полягає в забезпеченні автономного живлення всіх компонентів пристрою, оскільки недостатня ємність джерела живлення може спричинити передчасне розрядження та зупинку пристрою під час обстеження, що негативно позначиться на виконанні поставлених завдань.

Габарити та маса акумулятора потребують ретельного розгляду через їх вплив на загальну мобільність та маневровість робота. Оптимальне поєднання легкості, компактності та достатньої ємності сприяє збереженню розмірів та ваги робота в межах, що забезпечують його стійкість.

При розрахунку необхідної ємності акумулятора слід враховувати прогнозоване енергоспоживання усіх компонентів робота[8]. Такий підхід гарантує достатній запас енергії для виконання завдань протягом запланованого періоду. Неточності у цих розрахунках можуть призвести до несподіваних зупинок роботи та втрати цінних даних, зібраних під час обстеження.

2.3.1 Обчислення електроспоживання

Ретельно розглянемо підхід до забезпечення його автономної роботи. Ключовим фактором у цьому є правильний розрахунок ємності акумулятора, який живитиме всі системи робота протягом заданого періоду часу.

Для визначення оптимальної ємності акумулятора необхідно врахувати енергоспоживання кожного компонента робота. Це включає електромотори, сервоприводи, різноманітні датчики та мікроконтролери. Детальний аналіз цих

параметрів дозволяє обрати акумулятор, який забезпечить достатню тривалість автономної роботи робота.

Такий підхід забезпечує, що розроблений мобільний робот зможе виконувати свої функції без передчасного розряду батареї. Достатній запас енергії дозволяє роботу безперебійно працювати протягом усього запланованого циклу обстеження, що впливає на кількість та повноту зібраних даних. Крім того, оптимізоване енергоспоживання розширює можливості застосування робота в різноманітних умовах, підвищуючи його практичну цінність та універсальність.

Далі ми розглянемо методику розрахунку ємності акумулятора для конкретного мобільного робота. Цей розрахунок базуватиметься на специфікаціях компонентів та вимогах до тривалості роботи, що дозволить обґрунтовано вибрати оптимальне джерело живлення.

1. Електромотори:

- Кожен мотор споживає 0.07 А.
- У нас є 4 мотори.
- Загальне споживання струму моторами: $0.07 \text{ А} * 4 \text{ мотори} = 0.28 \text{ А}$.

2. Сервоприводи:

- Кожен сервопривід споживає 100 мА.
- У нас є 3 сервоприводи.
- Загальне споживання струму сервоприводами: $100 \text{ мА} * 3 = 300 \text{ мА} = 0.3 \text{ А}$.

3. Датчики:

- Датчик HC-SR04 споживає приблизно 15 мА.
- Датчик MQ-2 споживає приблизно 150 мА.
- Загальне споживання струму датчиками: $15 \text{ мА} + 150 \text{ мА} = 165 \text{ мА} = 1.65 \text{ А}$.

4. Bluetooth HS-05:

- Середнє споживання струму: 80 мА (або 0.08 А).

5. Arduino Mega 2560:

- Приблизне споживання струму: 50 мА (або 0.05 А).

Загальне споживання струму всіх компонентів:

- Електромотори: 0.28 А
- Сервоприводи: 0.3 А
- Датчики: 0.165 А
- ESP8266: 0.08 А
- Arduino Mega 2560: 0.05 А
- **Разом:** $0.28 \text{ А} + 0.3 \text{ А} + 0.165 \text{ А} + 0.08 \text{ А} + 0.05 \text{ А} \approx 1.025 \text{ А}$.

2.3.2 Розрахунок часу автономної роботи

Ємність акумулятора в ампер-годинах (Аг) розраховується за формулою:

$$Q = I \times T \quad (2.1)$$

де Q - ємність акумулятора (Аг);

T – час розряду батареї (год).

Припустимо, що робот повинен працювати автономно протягом 3 годин.

$$1.025 \text{ А} \times 3 \text{ години} = 3.075 \text{ Аг}$$

Враховуючи всі вимоги до живлення мобільного робота, особливу увагу слід приділити вибору відповідного акумулятора. У цьому контексті необхідно враховувати ємність акумулятора, його відповідність параметрам споживання струму та напруги, габарити та вагу, а також безпеку і ефективність. Розглянемо вибір акумулятора детальніше.

2.3.3 Підбір акумулятора під потреби електроспоживання

Для забезпечення роботи робота потрібно взяти акумулятор з ємністю трохи більшою, ніж розрахована, для врахування можливих втрат і тривалого терміну служби акумулятора. Отже, підійде акумулятор з ємністю приблизно 4 Аг.

Було обрано Canbat CBL4-12 AGM ємністю 4 Аг.

Акумулятори технології AGM (Absorbent Glass Mat) мають кілька переваг:

- Висока ефективність: Завдяки своїй конструкції, AGM акумулятори мають низький внутрішній опір, що забезпечує високу ефективність зарядки та розрядки.
- Безпека: Герметична конструкція AGM акумуляторів запобігає витоку електроліту, що робить їх безпечними для використання в мобільних роботах.
- Тривалий термін служби: AGM акумулятори характеризуються тривалим терміном служби та високою надійністю.



Рис. 2.12 Акумулятор
Canbat CBL4-12

Короткі технічні характеристики акумулятора наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Технічні характеристики акумулятора Canbat CBL4-12:

Номінальна напруга	12 V
Матеріал контейнера	ABS
Номінальна місткість	4 Аг
Максимальний струм розряду (5 с)	60 А
Внутрішній опір	63 мОм

виявл ення тріщ ин за допо мого ю ульт разв уков их прил адів	2.4 В	Цикл використання	Початковий зарядний струм менше 1,2 А. Напруга 14,4 В~15,0 В при 25°C Темп. Коефіцієнт -30 mV/°C
	Вплив температури на ємність	40°C	103%
		25°C	100%
		0°C	86%
	Розрахунковий плаваючий термін служби при 20°C	20+ років	
	Саморозряд	Свинцево-кислотні AGM-батареї Canbat можна зберігати до 6 місяців за температури 25°C, після чого необхідно провести повторний заряд. При більш високих температурах інтервал часу буде коротшим. Саморозряд становить менше ніж 2%.	

Ультразвукові прилади вважаються передовим методом НК для виявлення дефектів у газопроводах [7] та інших конструкціях. Їх висока чутливість дозволяє детектувати дефекти різного розміру та глибини, що надасть нам змогу передчасно запобігати аварій і забезпечить надійність інфраструктури.

Ключовими перевагами ультразвукового методу є можливість виявлення як внутрішніх, так і зовнішніх пошкоджень, здатність визначати точне розташування дефекту, оцінка розміру і глибини тріщини, висока швидкість контролю великих ділянок, а також безпека для персоналу через відсутність іонізуючого випромінювання.

Сучасні ультразвукові тріщиноміри оснащені спеціалізованими датчиками, які встановлюються під оптимальними кутами до поверхні труби [11]. Це забезпечує ефективне поширення і відбиття ультразвукових хвиль, підвищуючи точність діагностики. Завдяки цим характеристикам, використання

ультразвукових тріщиномірів дозволяє своєчасно виявляти і усувати дефекти, забезпечуючи безпеку і надійність роботи трубопровідних систем.

2.4.1 Принцип роботи ультразвукових тріщиномірів

Принцип роботи ультразвукових тріщиномірів базується на явищі відбиття ультразвукових хвиль від неоднорідностей у матеріалі. Процес діагностики починається з генерації ультразвукової хвилі спеціальним п'єзоелектричним перетворювачем, який створює високочастотні звукові хвилі, зазвичай у діапазоні від 0,5 до 25 МГц.

Згенерована хвиля поширюється через матеріал труби зі швидкістю c , яка визначається формулою:

$$c = \sqrt{E / \rho} \quad (2.2)$$

де E - модуль Юнга матеріалу, а ρ - його густина.

При зустрічі з тріщиною або іншим дефектом частина енергії хвилі відбивається назад до датчика [7]. Коефіцієнт відбиття R розраховується за формулою:

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (2.3)$$

де Z_1 і Z_2 - акустичні імпеданси першого та другого середовища відповідно.

Відбитий сигнал приймається тим самим або окремим приймальним перетворювачем. Після цього прилад аналізує характеристики відбитого сигналу. Час прольоту t визначає відстань до дефекту d за формулою:

$$d = c * t / 2 \quad (2.4)$$

Амплітуда сигналу A вказує на розмір дефекту і залежить від коефіцієнта відбиття:

$$A = A_0 * R * e^{(-\alpha x)}, \quad (2.5)$$

де A_0 - початкова амплітуда, α - коефіцієнт загасання, x - пройдена відстань. Форма сигналу може надати додаткову інформацію про тип дефекту.

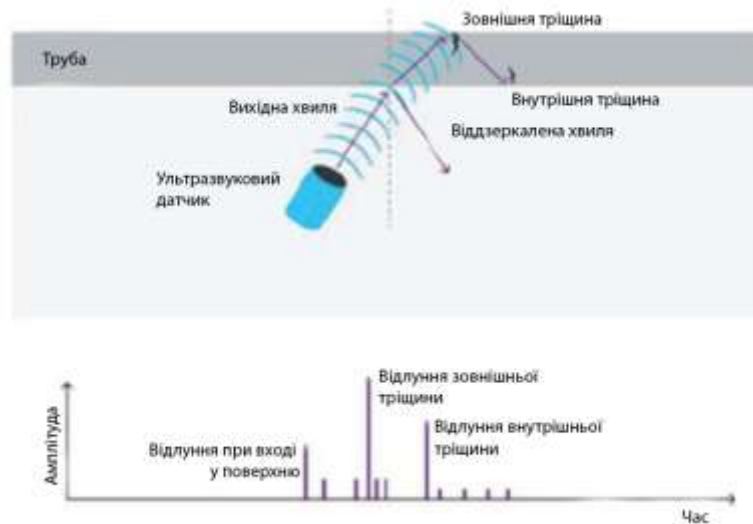


Рис. 2.13 Принцип виявлення тріщини у трубах

При використанні похилих датчиків важливо враховувати кут падіння хвилі. Кут падіння θ_1 і кут заломлення θ_2 пов'язані законом Снеліуса [19]:

$$\sin(\theta_1) / c_1 = \sin(\theta_2) / c_2 \quad (2.6)$$

де c_1 і c_2 - швидкості звуку в першому та другому середовищах. Це дозволяє ефективно виявляти як поперечні, так і поздовжні тріщини.

Для визначення точного місця розташування тріщини вимірюється час, за який відбита хвиля повертається до датчика. Цей показник називається часом прольоту. Чим менший цей час, тим ближче до поверхні знаходиться тріщина.

2.4.2 Характеристики ультразвукових тріщиномірів

Ультразвукові тріщиноміри мають ряд важливих технічних характеристик, які визначають їх ефективність у виявленні дефектів:

- мінімальна довжина виявленої тріщини: 20 мм;
- мінімальна глибина виявленої тріщини в основному матеріалі та зварних швах: 1-2 мм;
- максимальна чутливість (для деяких моделей): виявлення дефектів глибиною до 0,5 мм;
- мінімальне розкриття тріщини, яке може бути виявлено: менше 0,001 мм;

Ці характеристики свідчать про високу точність і ефективність ультразвукових тріщиномірів у виявленні навіть найдрібніших дефектів. Здатність виявляти тріщини з мінімальним розкриттям менше 0,001 мм [2] демонструє надзвичайну чутливість цих приладів.

У сучасних прототипах для виявлення тріщин часто використовується набір ультразвукових датчиків типу HC-SR04. Ці датчики працюють за принципом відправлення та прийому ультразвукових хвиль. Коли датчик відправляє ультразвукову хвилю, вона проходить через матеріал і, натрапивши на тріщину, відбивається назад. Датчик приймає відбиту хвилю і вимірює час, за який вона повернулася. Це дозволяє точно визначити наявність і місце розташування тріщин у матеріалі.

2.5 Підключення ручного керування

Розглянемо процес налаштування та підключення ручного керування мобільним роботом за допомогою Bluetooth. Встановлення Bluetooth модуля дозволяє оператору дистанційно керувати роботом через контролер. Детально розглянемо етапи налаштування модуля, введення його в командний режим, конфігурація з використанням Arduino та необхідні налаштування для забезпечення стабільного і надійного з'єднання. Такий підхід забезпечує зручність в експлуатації та гнучкість у керуванні роботом у реальних умовах.

2.5.1 Метод управління

Для керування було обрано контролер від PlayStation 2 через його надійність, доступність та зручність у використанні. Він має ергономічний дизайн, що забезпечує комфортне тривале використання, і велику кількість кнопок, що дозволяє реалізувати різноманітні функції управління роботом. Крім того, він легко інтегрується з мікроконтролерами через доступні бібліотеки та адаптери, що спрощує процес розробки системи віддаленого управління.



Рис. 2.14 Контролер PlayStation 2

Розробимо схему керування роботом:

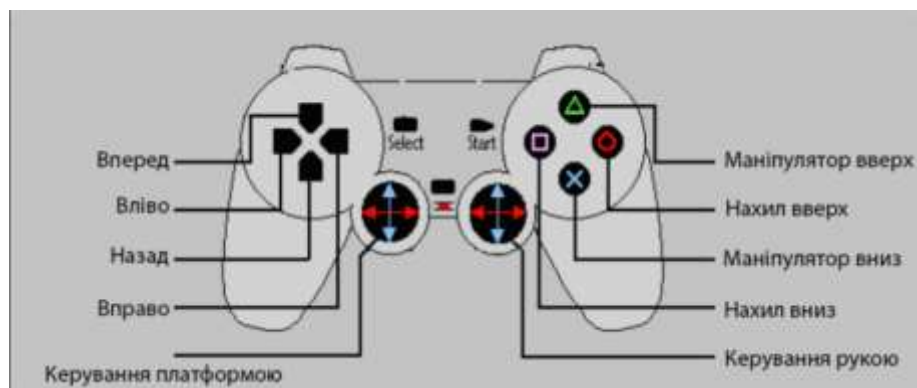


Рис. 2.15 Схема керування роботом

2.6 Налаштування підключення

Перш ніж підключити Bluetooth до системи, HC-05 необхідно налаштувати за допомогою комп'ютера для додавання необхідних налаштувань [13], щоб змінити основні заводські параметри. Спочатку переведемо Bluetooth в режим

АТ, встановивши контакт KEY (див. рисунок 2.14) на високий рівень, подавши на цей вивід 3,3 В, а потім за допомогою Arduino підєднаємо Bluetooth, як показано в таблиці 2.2.

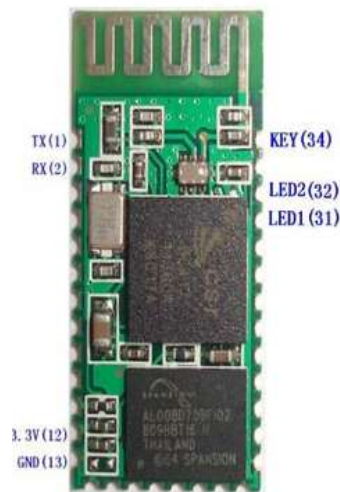


Рис. 2.16 Схема Bluetooth модуля HC-05

Таблиця 2.2 - Зв'язок модуля Bluetooth HC-05 із Arduino Mega 2560

Назва контакту	Аналогова функція	Зв'язок з Arduino
KEY	Командний режим	+3.3V
Vcc	Напруга живлення	+5V
GND	Заземлення живлення	GND
TXD	Послідовна передача даних	вивід 11
RXD	Послідовний прийом даних	вивід 10

Після налаштування модуля згідно з таблицею 2.3, знімаємо напругу 3.3В, що подається на вивід KEY, а потім перезавантажуємо модуль. Після перезавантаження модуля, світлодіоди стану ведомого і ведучого будуть швидко блимати, а світлодіод Pairing буде світитися постійно. Коли ведучий Bluetooth (АТ+LINK=<адреса>), буде обрано конкретний HC-05 і шляхом введенням пароля зв'язок буде встановлено.

Інструкція	Дія
AT+ ROLE =1	Встановити режим ведучого
AT+ ROLE =0	Встановити режим веденого пристрою
AT+RENAME= XXXXX	Вказати ім'я Bluetooth
AT+PSWD=XXXX	Вказати пароль Bluetooth
AT+UART=38400	Встановити швидкість передачі даних
At+ADDR?	Отримати адресу
AT+LINK=<адреса>	Підключіть ведучий до веденого, ввівши адресу веденого до головний Bluetooth

Таблиця 2.3 - Налаштування модуля Bluetooth HC-05.

2.7 Розробка алгоритму роботи

Завдяки чітко сформульованій ідеї та продуманій блок-схемі, розробка робота стає можливим та керованим процесом [9]. Блок-схема слугує дорожньою картою, яка веде робота до успішного виконання поставлених завдань.



Рис. 2.17 Блок-схема логіки мобільного робота

Блок-схема показує, як мобільний робот проводить обстеження труб для виявлення тріщин. Процес починається з розміщення робота на трубі. Після цього оператор вводить довжину труби, яку потрібно обстежити, що дозволяє роботу знати, яку ділянку треба перевірити.

Після введення даних про довжину труби, робот переходить у напівавтономний режим. Це означає, що він самостійно виконує певні дії, але під контролем оператора. Далі робот починає рух свого сканера до труби. З цього моменту він в режимі реального часу розпізнає тріщини.

На цьому етапі можливі два варіанти розвитку подій. Якщо тріщини не виявлені, робот продовжує свою роботу та цикл повторюється, тобто він продовжує рухатись і сканувати трубу далі. Якщо тріщини виявлені, система переходить до наступного кроку – визначення точного місця розташування тріщини та передавання інформації з усіх датчиків. Коли розташування тріщини визначене, робот фіксує його положення.

Якщо тріщина виявлена, система автоматично переходить до ручного керування. Це дозволяє оператору втрутитися, прийняти відповідні заходи для усунення тріщини або зупинити роботу робота для детальнішого аналізу.

2.8 Розробка електричної схеми підключень

Схема охоплює підключення основної плати контролера, сенсорів, виконавчих механізмів і системи живлення. Особлива увага приділяється узгодженню та правильному розподілу живлення між усіма компонентами, щоб уникнути перевантажень і забезпечити стабільну роботу.

Живлення системи постачається від акумулятора, який інтегрується в центральну шину живлення. Використання перетворювача напруги дозволяє адаптувати вихідну напругу для моторів, забезпечуючи їхню безперебійну роботу. Окрім цього, перетворювач також використовується для відсікання електромагнітних перешкод, що гарантує безперебійну роботу датчиків та плати управління.

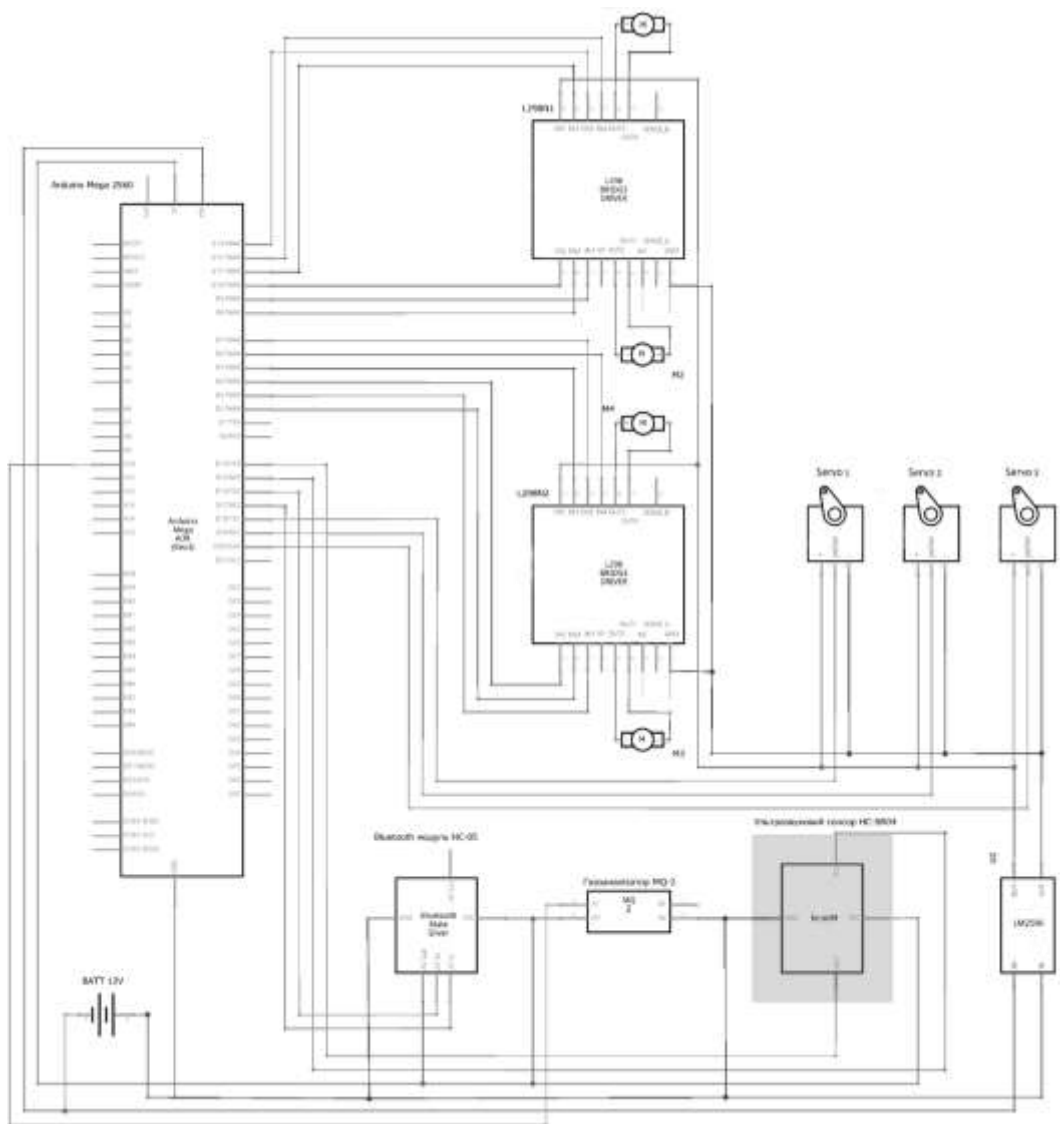


Рис. 2.18 Принципова схема підключення модулів робота

Усі сенсори та виконавчі механізми підключаються до контролера через відповідні входи і виходи. Продумана система зв'язків дозволяє забезпечити правильну роботу датчиків та моторів, а також стабільну передачу даних між модульними компонентами робота. Ми обрали усі компоненти модульними, що значно спрощує підключення і обслуговування, а також дозволяє легко замінювати або додавати нові елементи без значних змін у загальній схемі.

Також розробимо схему підключення модуля для дистанційного керування, що забезпечує можливість керування роботом за допомогою Bluetooth.

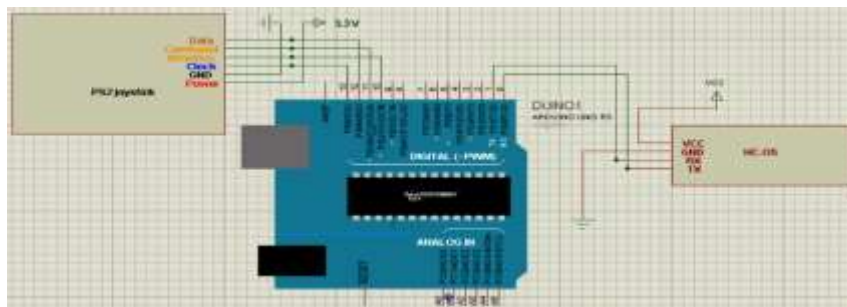


Рис. 2.19 Схема підключення модуля Bluetooth до контролера

Формування деталізованої схеми електричних з'єднань допоможе нам успішно реалізувати проєкт прототипу мобільного робота. Це дозволяє усунути потенційні проблеми, пов'язані зі збоєм електроживлення або неправильною роботою окремих компонентів, забезпечуючи комплексний підхід до інтеграції всієї системи.

2.9 3D проєктування мобільного робота у програмі SolidWorks

Розглянемо процес 3D моделювання мобільного робота, який буде використовуватися для обстеження герметичності газових труб. Основна мета моделювання – створити ефективну конструкцію робота, яка забезпечить максимальну прохідність та врахує розміри всіх компонентів, зокрема аккумулятора.

Процес 3D моделювання містить в собі створення цифрової моделі робота, яка дозволяє візуалізувати його конструкцію та випробувати різні конструктивні рішення на етапі проєктування [9]. Враховуються всі аспекти дизайну, починаючи від розміщення датчиків і закінчуючи оптимізацією внутрішнього простору для розташування електронних компонентів та джерел живлення. Модель створюється з урахуванням необхідності збереження компактних розмірів, що забезпечують легкий доступ до важкодоступних ділянок труб.

Також скомпонуємо всі модулі, включаючи сенсори, двигуни, контролери та акумулятор. Розміри робота підбираються таким чином, щоб забезпечити їх надійну установку і функціонування без зайвих навантажень на конструкцію.

Насамкінець, 3D моделювання дозволяє провести віртуальні тести та оптимізацію робота, що допомагає виявити та усунути потенційні проблеми на ранніх стадіях проєктування. Таким чином, розділ «3D моделювання мобільного робота для зовнішнього обстеження газових труб» демонструє важливість цього процесу для створення надійного, ефективного і функціонального пристрою, здатного виконувати складні завдання в реальних умовах експлуатації.

Після завершення моделювання 3D-прототип робота був візуалізований у САПР SolidWorks.

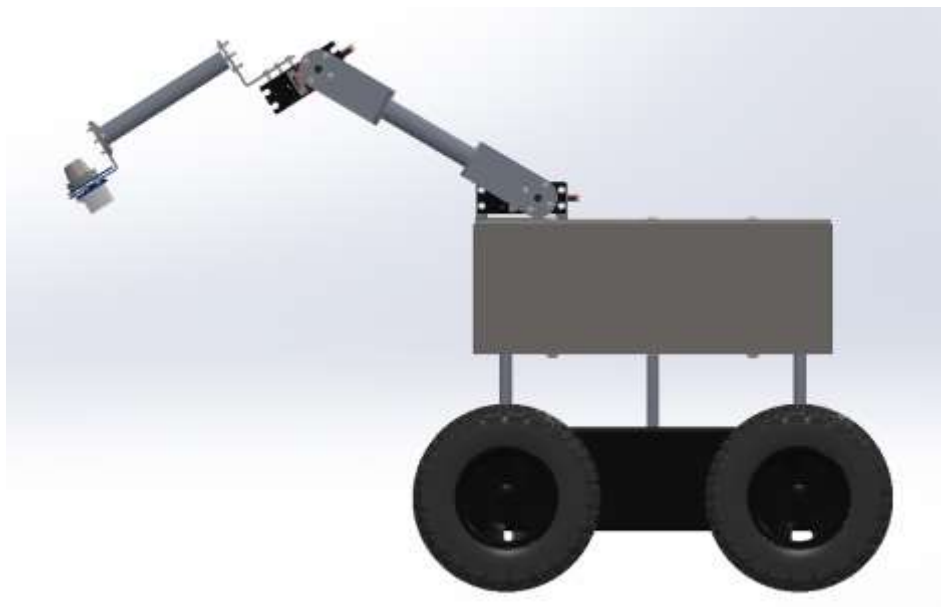


Рис. 2.20 Вигляд мобільного
робота з лівого боку

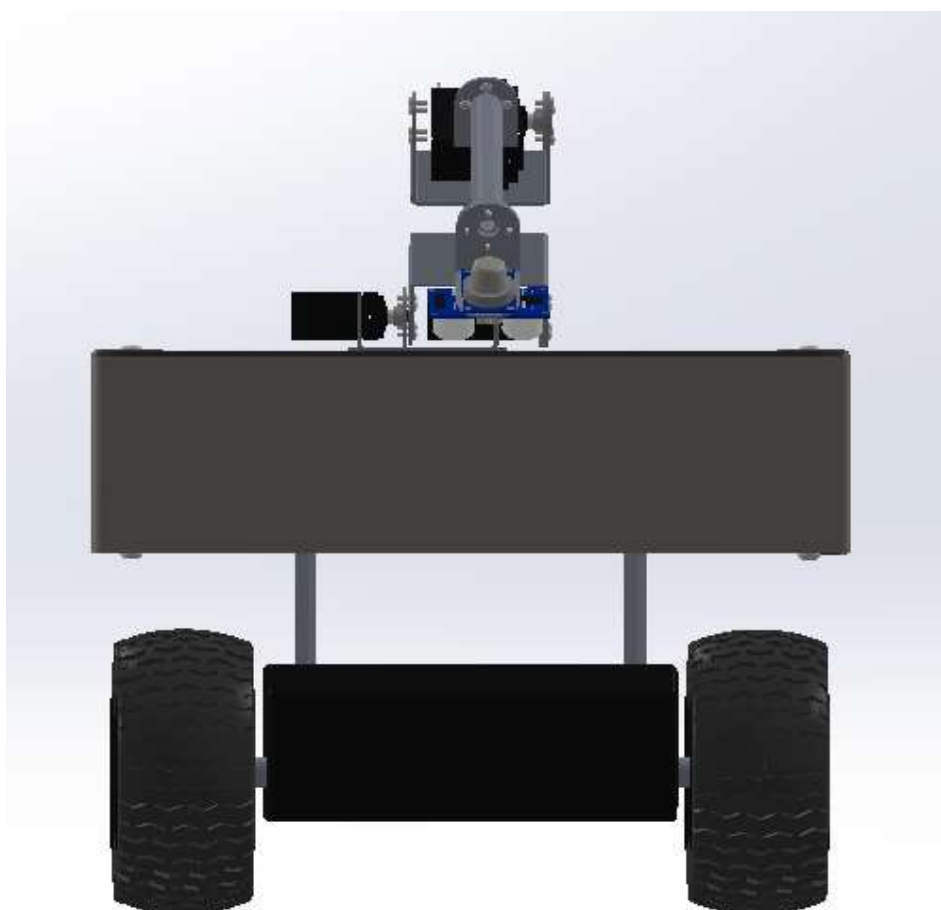


Рис. 2.21 Вигляд мобільного
робота з переду

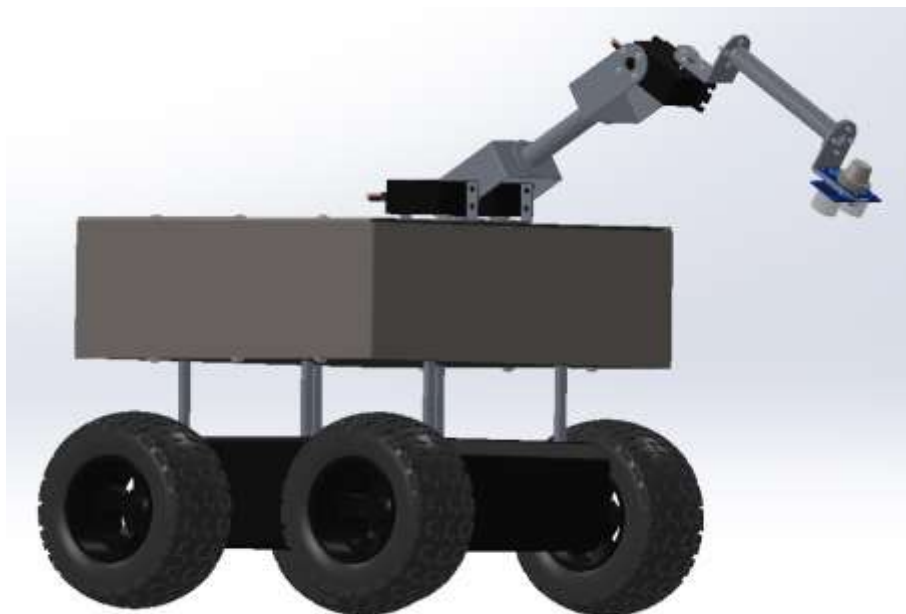


Рис. 2.22 Вигляд мобільного
робота з правого боку

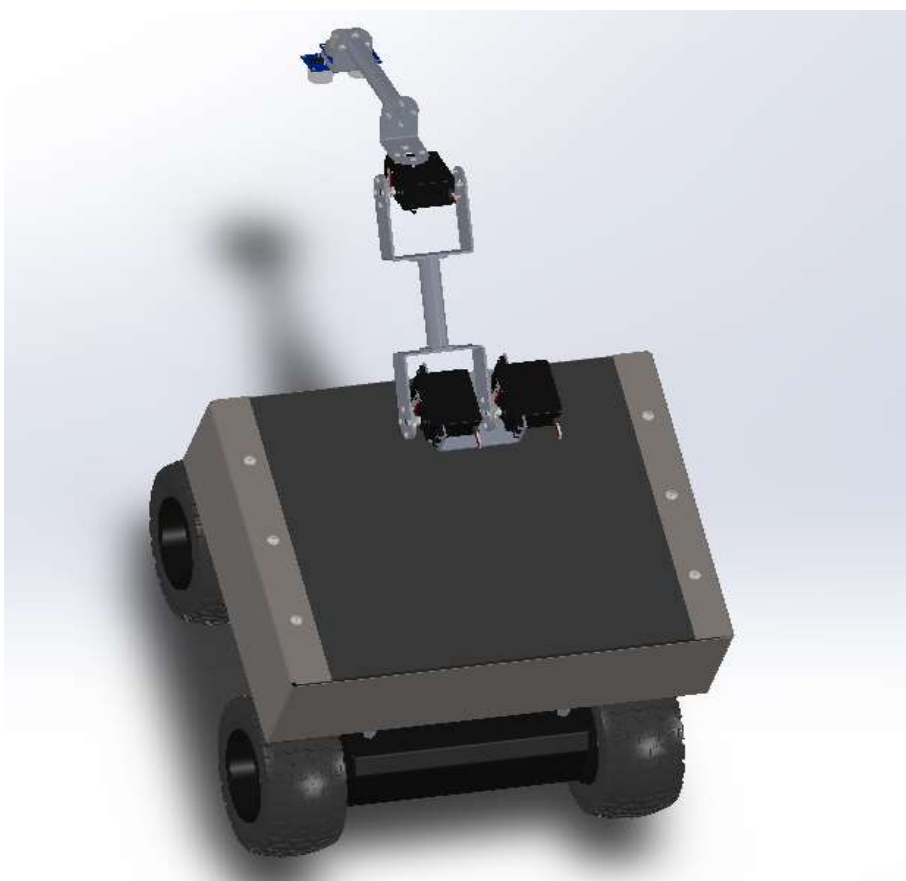


Рис. 2.23 Вигляд мобільного з
верхнього виду

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Програмування робота

У даному проєкті розроблено імплементацію роботизованої системи для інспекції трубопроводів, яка використовує ультразвукові датчики для автоматичного сканування та аналізу стану труб. Система включає рухливий маніпулятор з установленими ультразвуковими датчиками, які здатні рухатися по поверхні трубопроводів і здійснювати вимірювання.

Програмне забезпечення системи керує рухом робота, зчитує дані з ультразвукових датчиків і взаємодіє з оператором через інтерфейс Bluetooth для прийняття рішень під час інспекційних операцій [19,22]. Такий підхід не лише забезпечує високу точність вимірювань, але й підвищує ефективність і безпеку процесу діагностики і підтримки інфраструктури трубопроводів.

Програмування автоматизованої системи очищення було виконано за допомогою інтегрованого середовища розробки Arduino IDE версії 1.8.18, наданого компанією Arduino.cc [20]. Це середовище дозволяє здійснювати написання, компіляцію та завантаження програмних кодів.

```
#include <Servo.h> // Підключення бібліотеки для керування сервоприводами
// Записуємо підключення пінів модулів у константи для зручнішого редагування у разі зміни
схеми
// Піни ультразвукового сенсора HC-SR04
const int trigPin = 15;
const int echoPin = 14;

// Піни Bluetooth модуля HC-05
const int bluetoothRX = 18;
const int bluetoothTX = 19;

// Пін газоаналізатора MQ-2
const int gasSensorPin = A10;
```

```
// Піни моторів для керування L298N
const int motor1Pin1 = 2;
const int motor1Pin2 = 3;
const int motor1EN = 9;

const int motor2Pin1 = 4;
const int motor2Pin2 = 5;
const int motor2EN = 10;

const int motor3Pin1 = 6;
const int motor3Pin2 = 7;
const int motor3EN = 11;

const int motor4Pin1 = 8;
const int motor4Pin2 = 12;
const int motor4EN = 13;

// Піни серводвигунів
Servo servo1;
const int servoPin1 = 6;
Servo servo2;
const int servoPin2 = 7;

// Пін для світлодіода
const int ledPin = 22;

// Записуємо змінні для датчиків та управління

// Змінні для ультразвукового сенсора
long duration;
int distance;

// Попіг сенсора газу
const int gasThreshold = 500;
```

```

// Змінні для керування через Bluetooth
char bluetoothData;

// Змінні для довжини труби
float pipeLength;
float traveledDistance = 0;
const float distancePerStep = 0.1; // Приклад відстані на крок двигуна в метрах

void setup() {
    // Ініціалізація Serial для зв'язку
    Serial.begin(9600);
    Serial1.begin(9600); // Bluetooth зв'язок

    // Ініціалізація пінів ультразвукового сенсора
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);

    // Ініціалізація піна газового сенсора
    pinMode(gasSensorPin, INPUT);

    // Ініціалізація пінів моторів
    pinMode(motor1Pin1, OUTPUT);
    pinMode(motor1Pin2, OUTPUT);
    pinMode(motor1EN, OUTPUT);

    pinMode(motor2Pin1, OUTPUT);
    pinMode(motor2Pin2, OUTPUT);
    pinMode(motor2EN, OUTPUT);

    pinMode(motor3Pin1, OUTPUT);
    pinMode(motor3Pin2, OUTPUT);
    pinMode(motor3EN, OUTPUT);

    pinMode(motor4Pin1, OUTPUT);

```

```

pinMode(motor4Pin2, OUTPUT);
pinMode(motor4EN, OUTPUT);

// Ініціалізація пінів серводвигунів
servo1.attach(servoPin1);
servo2.attach(servoPin2);

// Ініціалізація пінів Bluetooth
pinMode(blueetoothRX, INPUT);
pinMode(blueetoothTX, OUTPUT);

// Ініціалізація піна світлодіода
pinMode(ledPin, OUTPUT);
digitalWrite(ledPin, LOW); // Вимкнути світлодіод на початку

// Запит довжини труби
Serial.println("Введіть довжину труби (в метрах): ");
while (Serial.available() == 0)
{ //Очікування на введення
  pipeLength = Serial.parseFloat();
  Serial.print("Довжина труби встановлена: ");
  Serial.println(pipeLength);
}

// Опускання маніпулятора з датчиками до труби
lowerSensorsToPipe();

void loop() {
  // Читання даних з HC-05 Bluetooth
  if (Serial1.available()) {
    bluetoothData = Serial1.read();
    Serial.println(bluetoothData); // Для відлагодження
    handleBluetoothData(bluetoothData);
  }
}

```

```

// Читання даних з газового сенсора MQ-2
int gasLevel = analogRead(gasSensorPin);
Serial.print("Рівень газу: ");
Serial.println(gasLevel);

if (gasLevel > gasThreshold) {
    // Зупинка робота і оповіщення оператора, якщо виявлено витік газу
    stopRobot();
    notifyOperator();
    Serial.println("Виявлено витік газу! Очікування рішення оператора...");
    waitForOperatorDecision();
}

// Читання даних з ультразвукового сенсора HC-SR04
distance = getUltrasonicDistance();
Serial.println(distance);
if (previousDistance != -1 && abs(distance - previousDistance) > 0.5) // Якщо різниця більше
0.5 см, то виявлено пошкодження
{
    stopRobot();
    notifyOperator();
    Serial.println("Виявлено тріщину! Очікування рішення оператора...");
    waitForOperatorDecision();
}
previousDistance = distance;

// Рух робота вперед і оновлення пройденої відстані
moveForward();
traveledDistance += distancePerStep;

if (traveledDistance >= pipeLength) {
    // Зупинка робота і сповіщення оператора
    stopRobot();
    notifyOperator();
    Serial.println("Кінець труби досягнуто! Очікування рішення оператора...");
}

```

```

    waitForOperatorDecision();
}

delay(1000);
}

void handleBluetoothData(char data) {
    // Логіка керування через Bluetooth
    switch (data) {
        case 'F': // Рух вперед
            moveForward();
            break;
        case 'B': // Рух назад
            moveBackward();
            break;
        case 'L': // Поворот ліворуч
            turnLeft();
            break;
        case 'R': // Поворот праворуч
            turnRight();
            break;
        case 'S': // Зупинка
            stopRobot();
            break;

        case 'U': // Маніпулятор вгору
            servo1.write(servo1.read() + 1);
            break;

        case 'D': // Маніпулятор вниз
            servo1.write(servo1.read() - 1);
            break;

        case 'T': // Нахил вгору
            servo2.write(servo2.read() + 1);
            break;

        case 'K': // Нахил вниз
            servo2.write(servo2.read() - 1);
            break;
    }
}

```

```

    case 'O': // Маніпулятор вгору
        servo3.write(servo3.read() + 1);
        break;

    case 'P': // Маніпулятор вниз
        servo3.write(servo3.read() - 1);
        break;

}
}

```

```

void moveForward() {
    digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
    analogWrite(motor1EN, 255);

    digitalWrite(motor2Pin1, HIGH);
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);
    analogWrite(motor2EN, 255);

    digitalWrite(motor3Pin1, HIGH);
    digitalWrite(motor3Pin2, LOW);
    analogWrite(motor3EN, 255);

    digitalWrite(motor4Pin1, HIGH);
    digitalWrite(motor4Pin2, LOW);
    analogWrite(motor4EN, 255);
}

```

```

void moveBackward() {
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
    digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);
    analogWrite(motor1EN, 255);

    digitalWrite(motor2Pin1, LOW);
    digitalWrite(motor2Pin2, HIGH);
    analogWrite(motor2EN, 255);
}

```

```
digitalWrite(motor3Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor3Pin2, HIGH);  
analogWrite(motor3EN, 255);  
  
digitalWrite(motor4Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor4Pin2, HIGH);  
analogWrite(motor4EN, 255);  
}
```

```
void turnLeft() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);  
    analogWrite(motor1EN, 255);  
  
    digitalWrite(motor2Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin2, HIGH);  
    analogWrite(motor2EN, 255);  
  
    digitalWrite(motor3Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor3Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor3EN, 255);  
  
    digitalWrite(motor4Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor4Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor4EN, 255);  
}
```

```
void turnRight() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor1EN, 255);  
  
    digitalWrite(motor2Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);
```

```
analogWrite(motor2EN, 255);
```

```
digitalWrite(motor3Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor3Pin2, HIGH);  
analogWrite(motor3EN, 255);
```

```
digitalWrite(motor4Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor4Pin2, HIGH);  
analogWrite(motor4EN, 255);
```

```
}
```

```
void stopRobot() {
```

```
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor1EN, 0);
```

```
    digitalWrite(motor2Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor2EN, 0);
```

```
    digitalWrite(motor3Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor3Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor3EN, 0);
```

```
    digitalWrite(motor4Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor4Pin2, LOW);  
    analogWrite(motor4EN, 0);
```

```
}
```

```
int getUltrasonicDistance() {
```

```
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```

duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
int distance = (duration / 2) / 29.1; // Розрахунок відстані в см
return distance;
}

void lowerSensorsToPipe() {
// Опускання датчиків до труби:
servo1.write(90); // Напрямок 90 градусів
servo2.write(45); // Напрямок 45 градусів
delay(1000); // Затримка для стабілізації маніпулятора }

void waitForOperatorDecision() {
while (true) {
if (Serial1.available()) {
char decision = Serial1.read();
if (decision == 'C') {
// Продовжити роботу
digitalWrite(ledPin, LOW); // Вимкнути світлодіод
break;
} else if (decision == 'E') {
// Завершити роботу
stopRobot();
while (true); // Зупинка програми
}
}
}
}

void notifyOperator() {
Serial1.write('S'); // Надсилаємо сигнал на приймач оператора для увімкнення світлодіода
digitalWrite(ledPin, HIGH); // Увімкнути світлодіод
}

```

3.2 Програмування контролера

Також розробимо код для дистанційного керування через PS2 контролер і Bluetooth модуль

Це дозволить PS2 контролеру надсилати команди через Bluetooth модуль HC-05 до робота. Arduino буде приймати команди з PS2 контролера та відправляти їх до робота.

```
#include <PS2X_lib.h> //Бібліотека для роботи з контролером PS2
#include <SoftwareSerial.h> //Бібліотека для зв'язку через Bluetooth

// Піни для Bluetooth модуля HC-05
#define BLUETOOTH_TX 0
#define BLUETOOTH_RX 1

SoftwareSerial Bluetooth(BLUETOOTH_TX, BLUETOOTH_RX);

// Піни для PS2 контролера
#define PS2_CLK 13
#define PS2_DAT 12
#define PS2_CMD 11
#define PS2_SEL 10

PS2X ps2x;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Bluetooth.begin(9600);

  // Ініціалізація PS2 контролера
  int error = ps2x.config_gamepad(PS2_CLK, PS2_CMD, PS2_SEL, PS2_DAT);

  if(error == 0) {
    Serial.println("Found Controller, configured successfully");
  } else {
```

```

    Serial.println("Controller not found");
}
}
void loop() {
    ps2x.read_gamepad();

    // Керування роботом через Bluetooth
    if(ps2x.Button(PSB_PAD_UP)) {
        Bluetooth.write('F'); // Рух вперед
    } else if(ps2x.Button(PSB_PAD_DOWN)) {
        Bluetooth.write('B'); // Рух назад
    } else if(ps2x.Button(PSB_PAD_LEFT)) {
        Bluetooth.write('L'); // Поворот ліворуч
    } else if(ps2x.Button(PSB_PAD_RIGHT)) {
        Bluetooth.write('R'); // Поворот праворуч
    } else if(ps2x.Button(PSB_START)) {
        Bluetooth.write('S'); // Зупинка
    }

    if(ps2x.Button(PSB_TRIANGLE)) {
        Bluetooth.write('U'); // Маніпулятор вгору
    } else if(ps2x.Button(PSB_CROSS)) {
        Bluetooth.write('D'); // Маніпулятор вниз
    }

    if(ps2x.Button(PSB_CIRCLE)) {
        Bluetooth.write('I'); // Наклон вгору
    } else if(ps2x.Button(PSB_SQUARE)) {
        Bluetooth.write('K'); // Наклон вниз
    }

    if(ps2x.Button(PSB_L1)) {
        Bluetooth.write('O'); // Рука вгору
    } else if(ps2x.Button(PSB_L2)) {
        Bluetooth.write('P'); // Рука вниз
    }

    delay(100); // Затримка між відправленнями команд
}

```

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Надання домедичної допомоги при ураженні електричним струмом

Оскільки ми працюємо з роботом для зовнішнього обстеження герметичності газових труб, який містить численні електрокомпоненти, дуже важливо мати знання про надання першої допомоги у випадку ураження електричним струмом. Уважно ознайомимось із правилами дій у критичних ситуаціях, допомагаючи мінімізувати небезпеку та збільшити шанс урятувати життя.

Постраждати від електричного струму можна під час роботи з електрообладнанням, при прямому контакті з провідником чи джерелом струму, а також через електричну дугу [24]. Ураження електричним струмом часто стається через порушення правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок та електромереж.

Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом складається з двох основних етапів: припинення дії струму на потерпілого та надання йому домедичної допомоги. Наслідки електротравми залежать від тривалості проходження струму через організм, тому важливо якнайшвидше звільнити людину від дії струму та надати негайну домедичну допомогу. Навіть у випадках клінічної смерті, перші декілька хвилин можуть бути вирішальними для порятунку життя.

Кращий спосіб звільнення потерпілого від дії електричного струму — негайне відключення електроустановки. Водночас потрібно брати до уваги можливість падіння потерпілого з висоти і засвітлення світла. У таких випадках слід прийняти необхідні запобіжні заходи. Для відокремлення потерпілого від струмопровідних частин можна використовувати штанги або палки. Той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавички або обмотати руки сухим одягом, взути діелектричні галоші або підстелити гумовий килимок чи дошки. Відтягувати потерпілого за ноги можна лише в тому випадку, якщо

рятівник має добре ізольовані руки і сухе взуття, без цвяхів і металевих застібок.

Запобіжні заходи для надання першої допомоги мають велике значення. Якщо потерпілий утримує один провід і струм проходить через тіло до землі, потрібно швидко відокремити його від землі, поклавши під нього сухий одяг. Перерізати дроти інструментами з ізольованими ручками можна, ставши на гумовий килимок або суху дошку.

Використання ізоляційних засобів є обов'язковим для роботи з напругою понад 1000 В: це діелектричні рукавички, боти та ізоляційні штанги або кліщі [25]. Після звільнення від струму, характер першої допомоги залежить від стану потерпілого:

- Якщо він при свідомості, забезпечте йому спокій до прибуття медиків.
- Якщо дихання та серцева діяльність зберігаються, але потерпілий непритомний, забезпечте доступ свіжого повітря, дайте понюхати нашатирний спирт, оббризкайте обличчя водою та зігрівайте тіло.
- При нерівномірному диханні виконуйте штучне дихання та масаж серця.

Заходи першої допомоги залежать від стану потерпілого після звільнення від струму. Якщо людина перебувала під дією струму короткий час і може самостійно координувати свої дії, її потрібно у супроводі іншої особи направити до медичного пункту для огляду. Повернення потерпілого до роботи можливе лише після ретельного медичного огляду, оскільки наслідки електротравми можуть з'явитися через 2-3 години. [25]

У випадку незначного ураження, коли потерпілий не знепритомнів, його дихання і серцева діяльність не порушені, але спостерігається слабкість або нервові сипання окремих м'язів, постраждалого слід покласти, зігріти (розтерти руки, ноги, тулуб, до ніг покласти грілку) та дати гарячий чай. Необхідно обов'язково направити потерпілого до медичного закладу для запобігання можливим ускладненням.

Якщо потерпілий при свідомості, але був у непритомності або тривалий час перебував під дією струму, його треба покласти на сухе місце, накрити ковдрою і забезпечити спокій, спостерігаючи за його диханням і пульсом.

У випадку, якщо потерпілий знепритомнів, але має стабільне дихання і пульс, слід покласти його на бік, забезпечити доступ свіжого повітря, піднести до носа ватку, змочену нашатирним спиртом, та обережно розтерти його тіло для зігрівання. Якщо ж потерпілий дихає слабо або взагалі не дихає, немає серцебиття, а зіниці розширені і не реагують на світло, необхідно негайно почати проведення штучного дихання та непрямого масажу серця. Не припиняйте надання допомоги, якщо немає явних ознак життя — смерть може констатувати тільки лікар. [24,25]

Штучне дихання необхідно робити безупинно, поки не відновиться самостійне дихання або не прибуде лікар. Штучне дихання «з рота в рот» чи «з рота в ніс» робиться через марлю чи хустинку. Вдувайте повітря з частотою 10-12 разів на хвилину, одночасно виконуючи непрямий масаж серця. Для масажу серця накладайте одну руку на іншу і натискайте на нижню частину грудей з ритмом 50-60 натискань на хвилину.

Повторюючи ці дії, ви забезпечуєте кровообіг та можливе відновлення самостійного дихання і серцевої діяльності. Запам'ятайте, ефективність допомоги залежить від вашої швидкості, рішучості та знань.

Отже, основні пункти надання допомоги:

- Звільнення потерпілого від струму (вимкнення живлення, використання ізольованих предметів).
- Запобігання ризику для рятувальника (використання рукавичок, килимків).
- Оцінка стану потерпілого.
- Надання допомоги (штучне дихання, масаж серця).
- Спостереження за станом до прибуття медичної допомоги.

Важливо пам'ятати, що відповідні заходи можуть врятувати життя. Навчання основам надання першої допомоги необхідно для усіх, хто працює з електрообладнанням.

4.2 Пожежна безпека під час роботи з мобільним роботом для обстеження герметичності газових труб

Робота з мобільним роботом для зовнішнього обстеження газових труб вимагає дотримання суворих норм пожежної безпеки, оскільки ці роботи часто відбуваються у потенційно небезпечних умовах. У таких випадках ризик виникнення пожежі є особливо високим через можливість витоку газу, наявність легкозаймистих матеріалів та роботу електричних компонентів робота.

Перед початком робіт необхідно перевірити всі електричні компоненти робота на предмет пошкоджень, які можуть спричинити іскріння або коротке замикання. Важливо також провести інструктаж усіх працівників щодо дій у випадку пожежі та використання первинних засобів пожежогасіння [23]. Під час роботи з мобільним роботом слід дотримуватися наступних заходів пожежної безпеки:

1. постійно контролювати справність обладнання, особливо електричної частини;
2. уникати роботи в умовах, де можливе скупчення газів або легкозаймистих рідин;
3. забезпечити наявність вогнегасників типу В або С, які ефективні для гасіння пожеж електричного та газового походження;
4. використовувати вибухозахищені та іскробезпечні інструменти, щоб уникнути виникнення іскріння при контакті з металевими поверхнями;

У разі виникнення пожежі при роботі з мобільним роботом для обстеження газових труб, першочерговим завданням є забезпечення безпеки всіх працівників. Потрібно негайно покинути місце виникнення пожежі та при можливості відключити робота від джерела живлення. Це допоможе запобігти

подальшому розповсюдженню вогню через електричні компоненти. Наступним кроком є виклик пожежної служби, повідомивши при цьому точне місце виникнення пожежі та її масштаби.

Для ефективної локалізації та гасіння невеликих осередків вогню на перших етапах виникнення пожежі рекомендується використовувати первинні засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники або пожежні крани. Вибір вогнегасника повинен залежати від типу джерела пожежі: для електричних пожеж найефективнішими є порошкові вогнегасники (ВП-1, ВП-2, ВП-5) або вуглекислотні (ВВК-3.5, ВВК-5), тоді як для горючих рідин рекомендовані піноутворюючі вогнегасники (ГПС-200, ГПС-500) [23].

Під час гасіння вогню важливо стояти з підвітряного боку, щоб уникнути опіків та потрапляння токсичних продуктів горіння. Це дозволяє зменшити ризик вдихання шкідливих речовин та надає можливість керувати гасінням з більшою безпекою та ефективністю.

Ці прості, але важливі заходи можуть значно зменшити поширення вогню і мінімізувати його негативні наслідки для людей і майна.

У випадку, якщо пожежа не піддається контролю за допомогою первинних засобів пожежогасіння, негайно потрібно залишити місце займання і чекати прибуття пожежних підрозділів. Під час евакуації працівники повинні уникати паніки і надавати допомогу один одному, особливо тим, хто може потребувати допомоги.

Керівник завдання зобов'язаний перевірити наявність всіх працівників у безпечній зоні та повідомити про можливі постраждалих рятувальним службам. Це забезпечить максимально швидке реагування та ефективності дій під час надзвичайної ситуації.

Після завершення гасіння пожежі та отримання дозволу від пожежної служби, можна розпочинати оцінку збитків та відновлювальних робіт. Важливо провести ретельний аналіз причин виникнення пожежі та розробити заходи для запобігання подібним інцидентам у майбутньому. Це містить перевірку і вдосконалення системи пожежної безпеки, проведення додаткових навчань для

працівників та посилення контролю за дотриманням правил безпеки під час роботи з мобільним роботом для обстеження газових труб.

ВИСНОВКИ

Результатом досліджень, проведених у цій кваліфікаційній роботі, стала розробка прототипу мобільного робота для зовнішнього обстеження газових труб. Було обрано та інтегровано необхідні комплектуючі, зокрема, електромотори, сервоприводи, ультразвукові та газові сенсори, а також модуль Bluetooth для дистанційного керування. Створено програмне забезпечення для інтерактивного керування роботом, яке базується на платформі Arduino.

Розроблений прототип забезпечує високу точність і ефективність виявлення дефектів на поверхні газових труб, таких як корозія, тріщини та витоки газу, без необхідності зупинки експлуатації трубопроводу. Це значно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та потребу у втручанні людини, забезпечуючи оперативну реакцію на потенційні небезпеки.

Повна інформація про процес проєктування та реалізації, включаючи всі принципові схеми, а також кроки з визначення розмірів та відповідного вибору компонентів, були детально описані в цій роботі.

References

Список літератури

1. Liu, wu & Li, Liangdi & Zhao, Donghui & Liao, Yong. (2023). Study On the Leakage and Diffusion Characteristics of Buried Hydrogen-Blended Natural Gas Pipelines. Journal of Pressure Vessel Technology. 146. 1-29. 10.1115/1.4064204. Режим доступу – https://www.researchgate.net/publication/376381500_Study_On_the_Leakage_and_Diffusion_Characteristics_of_Buried_Hydrogen-Blended_Natural_Gas_Pipelines
2. Rui, Zhenhua, et al. "A new model to evaluate two leak points in a gas pipeline." Journal of Natural Gas Science and Engineering 46 (2017): 491-497. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510017303499>
3. Lu, Hongfang, et al. "Leakage detection techniques for oil and gas pipelines: State-of-the-art." Tunnelling and Underground Space Technology 98 (2020): 103249. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779818311131>
4. Supriyono, Heru, and Ahmad Nur Hadi. "Designing a wheeled robot model for flammable gas leakage tracking." 2017 Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC). IEEE, 2017. Режим доступу – <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8280657/>
5. Simone D'Angelo, Antonio Corrado, Fabio Ruggiero, Jonathan Cacace, Vincenzo Lippiello. (2024). «Stabilization and control on a pipe-rack of a wheeled mobile manipulator with a snake-like arm». 171. Режим доступу – https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889023001938?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=884bb55d3ee39956#fig2
6. Mohd Ashiq Kamaril Yusoff, Reza Ezuan Samin, Babul Salam Kader Ibrahim. (2018). «Wireless Mobile Robotic Arm». 41. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026859>
7. Sharma, Kuldeep & Kumar, Ashok. (2023). NDE 4.0 Automation of Digital X-Ray (DR System) with AI -For Crude and Gas Transportation Pipes. International Journal of Science and Research (IJSR). 12. 809-811. 10.21275/MR23604072218. Режим доступу – https://www.researchgate.net/publication/380697586_NDE_40_Automation_of_Digital_X-Ray_DR_System_with_AI_-_For_Crude_and_Gas_Transportation_Pipes
8. Ganesh, Padamala, et al. "Design and Simulation of RC Pipe Inspection Robot." (2020). Режим доступу – <https://www.academia.edu/download/65404060/6259.pdf>
9. Widhiada, W., I. G. N. Santhiarsa, and C. G. I. Partha. "Design of motion control for mobile robot manipulator." International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research 9.11 (2020): 1509-1514. Режим доступу – <https://www.academia.edu/download/77993218/20201016113100165.pdf>

10. Nassiraei, Amir AF, et al. "Concept and design of A fully autonomous sewer pipe inspection mobile robot" KANTARO." Proceedings 2007 IEEE international conference on robotics and automation. IEEE, 2007. Режим доступу – <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4209082/>
11. Jeon, Woongsun, et al. "Design and control method for a high- mobility in-pipe robot with flexible links." Industrial Robot: An International Journal 40.3 (2013): 261-274. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814035218>
12. Barkanov, Evgeny N., Andrei Dumitrescu, and Ivan A. Parinov, eds. Non-destructive testing and repair of pipelines. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. Режим доступу – <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-56579-8.pdf>
13. Mallick, Biswajit & Mohanta, Harish Chandra. (2024). Development of a Mobile Robot using Arduino Uno. 6. 40-48. 10.5281/zenodo.10804359. Режим доступу – https://www.researchgate.net/publication/378862963_Development_of_a_Mobile_Robot_using_Arduino_Uno
14. Jin, Hao, et al. "Integrated leakage detection and localization model for gas pipelines based on the acoustic wave method." Journal of Loss Prevention in the Process Industries 27 (2014): 74-88. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013002349>
15. Sharma, Vinamra Bhushan, et al. "A comprehensive study of techniques utilized for structural health monitoring of oil and gas pipelines." Structural Health Monitoring 23.3 (2024): 1816-1841. Режим доступу – <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/14759217231183715>
16. Qin, Guojin, and Y. Frank Cheng. "Modeling of mechano-electrochemical interaction at a corrosion defect on a suspended gas pipeline and the failure pressure prediction." Thin-Walled Structures 160 (2021): 107404. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823120312672>
17. Umamaheswari, B., et al. "GSM-Based Gas Efflux Monitoring using MQ-2 Sensors." 2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS). IEEE, 2022. Режим доступу – <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10046914/>
18. Xu, Fan, et al. "An efficient indoor Wi-Fi positioning method using virtual location of AP." ISPRS International Journal of Geo-Information 9.4 (2020): 261. Режим доступу – <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/4/261>
19. Glisic, B., and T. Kundu. "Sensing solutions for assessing and monitoring pipeline systems." Sensor technologies for civil infrastructures. Woodhead Publishing, 2022. 255-297. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081027066000143>
20. Arduino. Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1. 2021. Режим доступу – <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
21. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки розроблено у відповідності з навчальними планами підготовки фахівців

- освітнього рівня «Бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя. 2021. - 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
- 22.Методичні вказівки до лабораторної роботи №10 "Використання програмного середовища Arduino IDE для програмування мікроконтролерів AVR" з дисципліни "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / Медвідь В.Р., Пісьціо В.П. – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 22 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/38376>
- 23.Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с. /Рекомендовано до друку Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 10 від 20 жовтня 2020 року
- 24.Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. / (Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 9 від 4 жовтня 2022 р.
- 25.Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
- 26.Автоматизація періодичних технологічних процесів: Типова програма, методичні вказівки, теорія та практика. Лабораторний практикум / Укладачі: Проць Я.І., Данилюк О.А.. Федорів П.С. - Тернопіль: ТДТУ, 2005 -135 с.
- 27.Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
- 28.Гурик О.Я., «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
- 29.Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
- 30.Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.

- 31.Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
- 32.Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>
- 33.Щербина Я.Я. Основи протипожежної техніки. - Київ: Вища школа, 2010. 231 с.
- 34.Запорожець Ю.І., Халмурадов Б.Д., Безпека життєдіяльності., підручник / Ю.І. Запорожець , Б.Д. Халмурадов – Київ . Видавництво «Центр учбової літератури». 2013.
- 35.Жидецький, В. Ц., В. С. Джигирей, and О. В. Мельников. "Основи охорони праці." Львів: Афіша 350 (2000): 132-136.