

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Борцов Владислав Вікторович**

УДК 004.042:534.88

**Апаратно-програмний комплекс для визначення місцезнаходження  
джерела звукових коливань на базі Orange Pi Zero**

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

Автореферат  
магістерської роботи  
на здобуття кваліфікації магістра з комп'ютерної інженерії

Миколаїв – 2021

Робота виконана у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили.

- Керівник:** д-р техн. наук, проф.  
**Журавська Ірина Миколаївна,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,
- Рецензент:** д-р техн. наук, проф., Засл. винахідник України  
**Кондратенко Юрій Пантелійович,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
завідувач кафедри інтелектуальних  
інформаційних систем
- Консультант:** д-р біол. наук, проф.  
**Григор'єва Людмила Іванівна,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
завідувач кафедри екології Медичного інституту

Захист відбудеться « \_\_\_\_ » лютого 2021 р. о 10<sup>00</sup> на засіданні  
Екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. \_\_\_\_\_

З магістерською роботою можна ознайомитись в Інституційному репозиторії  
для бакалаврських та магістерських робіт ЧНУ ім. Петра Могили  
за посиланням <https://krs.chmnu.edu.ua/>

Автореферат оприлюднений « \_\_\_\_ » лютого 2021 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Акустична локація – це використання звуку для визначення відстані та напрямку до його джерела чи відбивача. Визначення може здійснюватися активно або пасивно, і може відбуватися в газах (таких як атмосфера), рідинах (наприклад, вода) та у твердих речовинах (наприклад, у землі). Активна акустична локація передбачає створення звуку з метою створення відлуння, яке потім аналізується, аби визначити місцезнаходження цілі. Пасивна акустична локація (ПАЛ) передбачає виявлення звуку або вібрації, що створюються об'єктом, які потім аналізуються для визначення місцезнаходження цілі. ПАЛ передбачає використання мікрофонів, тоді як активна вимагає наявності динаміків або інших генераторів звуку. Також акустична техніка має перевагу у можливості працювати навіть у складних геологічних умовах (пагорби, гори).

Таким чином, метод пасивної акустичної локації є більш економічним з точки зору витрат на апаратне забезпечення без втрати технологічної якості. У військових застосуваннях акустична локація використовується для визначення місця стрільби з вогнепальної зброї (снайперів). Для цивільних задач визначення місцезнаходження об'єктів, що створюють звукові коливання, має широке застосування у науковій, промисловій та у сфері надзвичайних ситуацій для пошуку постраждалих.

**Мета:** Розробка апаратно-програмного комплексу для знаходження вектору направленості до джерела звукових коливань за методом пасивної акустичної локації.

**Об'єкт:** Процес встановлення місцезнаходження джерела звуку.

**Предмет:** Методи та засоби проєктування та розробки апаратно-програмного комплексу визначення вектору направленості до джерела звукових коливань.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

– аналіз існуючих методів та систем пеленгації джерела сигналу (в тому числі звукового);

- розробка бюджетного малогабаритного пристрою на базі Orange Pi Zero та датчиків звуку, який здатен встановлювати місцезнаходження об'єкту – джерела звуку;

- розробка програмного забезпечення для пристрою, що виконуватиме необхідні розрахунки та відображатиме результат у прийнятній для візуального сприйняття формі;

- дослідження дальності визначення джерела звуку з використанням запропонованого рішення;

Під час виконання магістерської роботи використовувалися емпіричні **методи дослідження.**

**Використані методи:** технологія .Net Core для створення програмної частини, а також методи розв'язку систем нелінійних рівнянь.

**Практичне значення одержаних результатів:** Практичне значення полягає в можливості визначення місцеположення об'єкта пошуку при наявності від нього звукових коливань.

Робота пройшла **апробацію** під час XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація» (Одеса, 22–23 жовтня 2020 р.) та XXIII Всеукраїнської науково-методичної конференції «Могилянські читання» (Миколаїв, 16–20 листопада 2020 р.).

**Публікації.** Основні положення та результати магістерської роботи опубліковані в 3 друкованих працях, з них: 1 розділ колективної монографії [1] та 2 публікації у збірниках матеріалів міжнародної та всеукраїнської наукових конференцій [2; 3].

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 29 найменувань, трьох додатків на восьми сторінках, спеціальної частини з охорони праці та безпеки життєдіяльності. Основна частина роботи становить 58 с., серед яких 60 рис., 1 табл.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми магістерської роботи, зазначено її зв'язок із науковою проблематикою, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації автора.

У **першому розділі** магістерської роботи проведено огляд існуючих систем акустичної локації, обґрунтовано вибір методу пасивної акустичної локації (ПАЛ), побудовано наближений аналітичний розв'язок задачі пошуку координат звукової аномалії для трьох мікрофонів (рис. 1) за лінійною схемою наближення і рекурентною апроксимацією для визначення місцезнаходження джерела звукових коливань (далі – об'єкта) на площині (1):

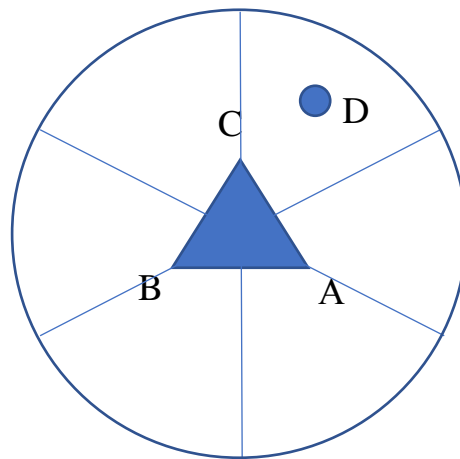


Рисунок 1 – Визначення місцезнаходження D джерела звукових коливань

$$\begin{aligned}
 DA &= (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = (V(t + \Delta t_a))^2 \\
 DB &= (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = (V(t + \Delta t_b))^2 \\
 DC &= (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = (V(t + \Delta t_c))^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $x_a, x_b, x_c$  – координати датчиків А, В, С пристрою по осі  $x$ ;

$y_a, y_b, y_c$  – координати пристрою по осі  $y$ ;

$x, y$  – координати пристрою по осях  $x, y$  відповідно;

$t$  – час фіксації сигналу першим з датчиків;

$V$  – швидкість звуку у поточному середовищі,  $V = 330$  м/с.

У другому розділі магістерської роботи був проведений огляд існуючих одноплатних мікрокомп'ютерів, здійснено вибір апаратних компонентів для розробки апаратно-програмного комплексу (АПК) ПАЛ, спроектовано схему пристрою (рис. 2), проведено необхідні налаштування, а також розроблено та встановлено необхідне програмне забезпечення для подальшої роботи.

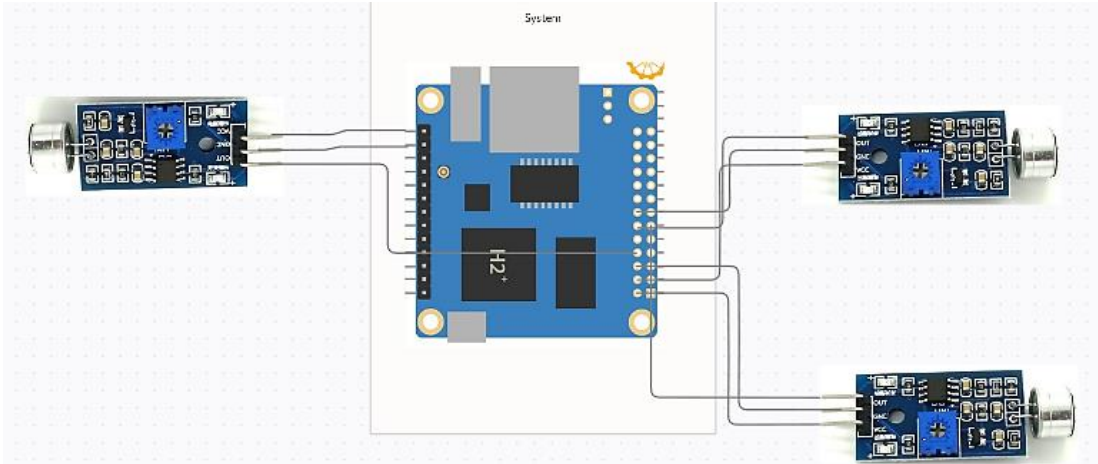


Рисунок 2 – Принципова схема пристрою ПАЛ на базі Orange Pi Zero



а)



б)

Рисунок 3 – Датчик звуку на базі компаратора LM393 (а) на просторовій конструкції АПК ПАЛ (б)

Крім того, у розділі описано проведення необхідних налаштувань апаратних компонентів для здійснення процесу пасивної акустичної локації, встановлення операційної системи та необхідних пакетів для подальшого запуску розробленого програмного забезпечення, а також конструктивне виконання підключення периферійних компонентів до мікрокомп'ютера (рис. 3).

У **третьому розділі** магістерської роботи описано розроблене програмне забезпечення (ПЗ), що після отримання даних від датчиків звуку проводить необхідні розрахунки, після чого демонструє їх у зручній для користувача формі. Під час написання вищезгаданого ПЗ АПК ПАЛ використовувалася .NET Core, а також додаткові бібліотеки (в рамках мови C#). Для зчитування даних з датчиків звуку використано бібліотеку від Microsoft *System.Devices.Gpio*, яка дозволяє працювати з GPIO на багатьох видах одноплатних мікрокомп'ютерів та IoT-пристроях.

Діаграму основних класів ПЗ наведено на рис. 4.

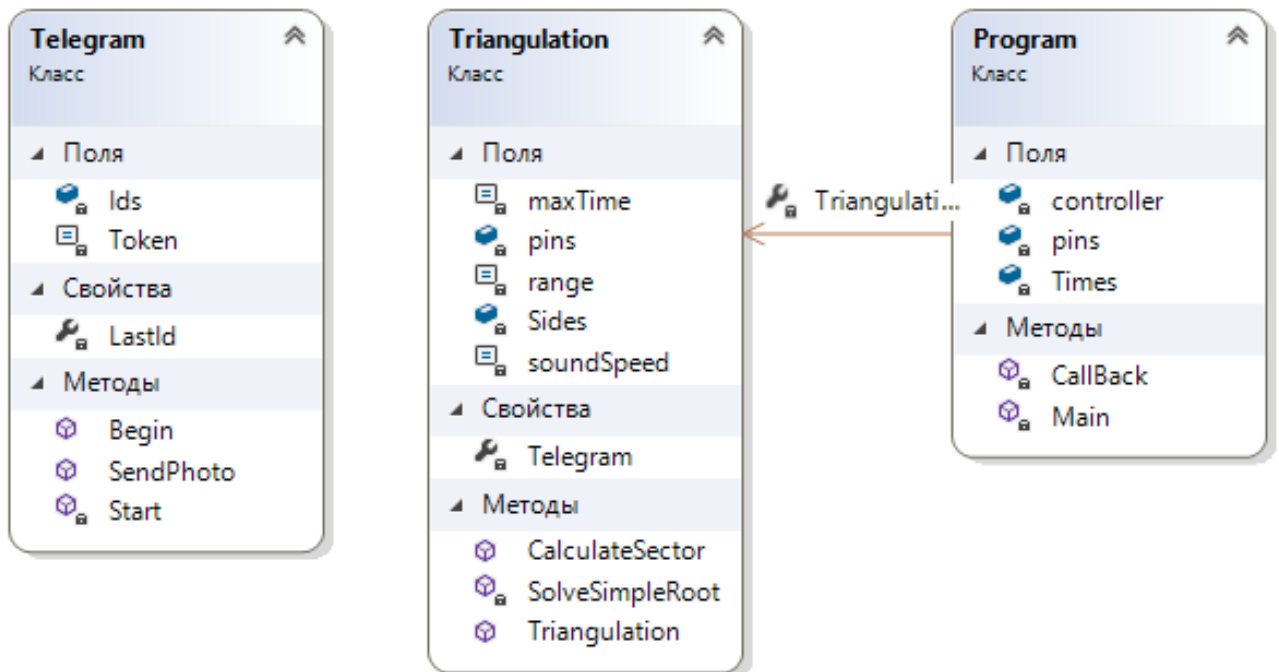


Рисунок 4 – Діаграми основних класів ПЗ АПК ПАЛ

Для зручності перегляду та забезпечення мобільності оператора АПК ПАЛ виведення результатів здійснюється до кросплатформного месенджера Telegram (рис. 5).

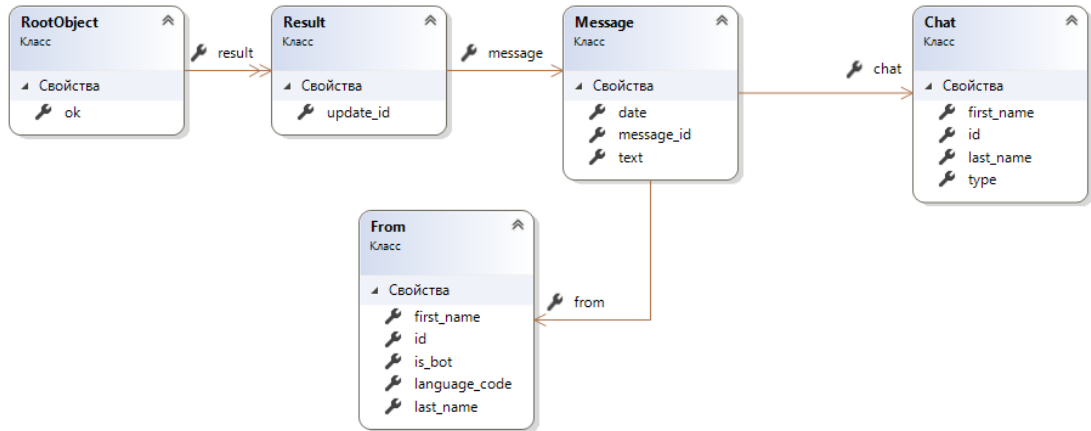


Рисунок 5 – Діаграми класів для роботи ПЗ з Telegram API

Для відображення даних у Telegram і отримання токена зареєстровано бота Bot Father (рис. 6); для отримання і надсилання повідомлень використано Telegram API (рис. 7).

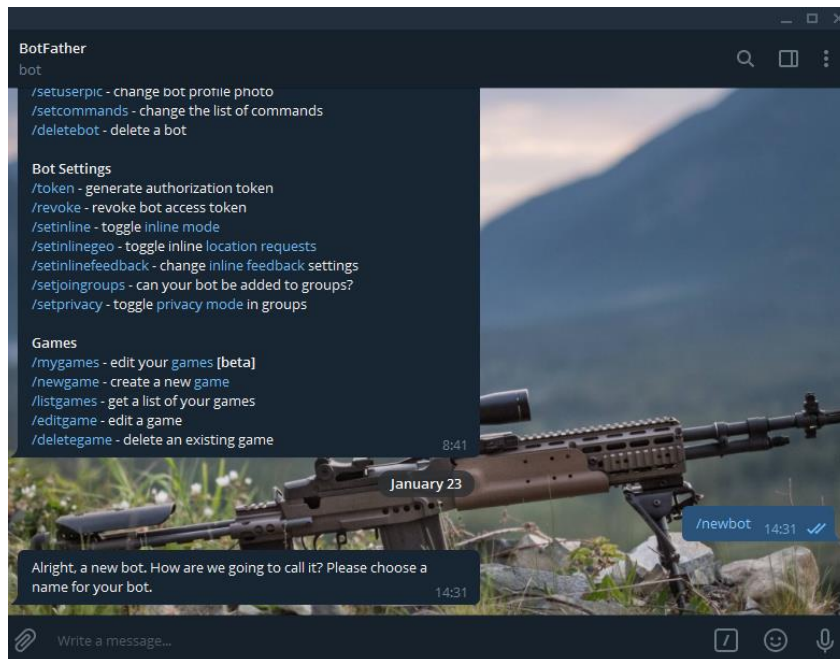


Рисунок 6 – Налаштування бота Bot Father



```

29 private void Start()
30
31     while (true)
32     {
33         using (var web = new WebClient())
34         {
35             var response = web.DownloadString("https://api.telegram.org/bot" + Token + "/getUpdates?offset=" +
36
37             var recFile = JsonConvert.DeserializeObject<RootObject>(response);

```

Рисунок 7 – Частина коду, що відповідає за отримання нових повідомлень від датчиків АПК ПАЛ у Telegram

В якості результату обрахунку через Telegram користувачу надсилається малюнок, на якому зображений Orange Pi (для легкості орієнтації) а також 6 секторів (рис. 8).

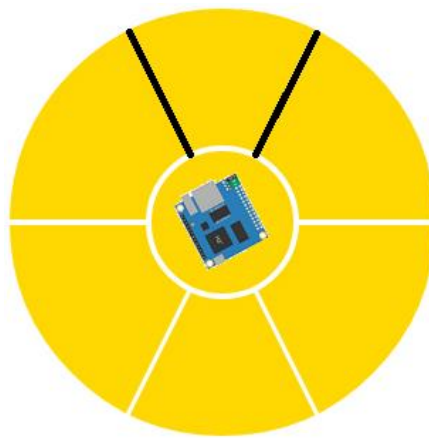


Рисунок 8 – Приклад позначення необхідного сектору в інтерфейсі Telegram

Сектор, у якому знаходиться ціль (джерело звукових коливань), виділений на рис. 7 чорними контурами.

Проведено перевірку працездатності апаратно-програмного комплексу на практиці (рис. 9).



Рисунок 9 – Результат експерименту із зазначенням точного місцезнаходження джерела звукових коливань

Під час експериментальної перевірки АПК встановлено, що він працює з точністю на рівні близько 85 % на відстані до 5 м від джерела звукових коливань.

**Додатки** містять лістинг коду створеної програми, копії трьох публікацій за темою диплому, а також результати перевірки на унікальність з Unicheck.

**У спеціальній частині «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»** наведено аналіз умов праці компанії «Ліценза Девелопмент», проведені розрахунки, котрі показали, що основними труднощами для працівників компанії є нервово-емоційне навантаження, яке негативно відображається на здоров'ї співробітників і може призвести до виникнення різного роду захворювань. Для покращення цієї ситуації було рекомендовано впровадити такі заходи, котрі б знижували нервово навантаження. Як приклад, це може бути підвищення заробітної плати, збільшення тривалості обідньої перерви, обладнання спортивної зали. Проведення таких заходів з охорони праці призведуть до зменшення важкості праці з III до II категорії, і відповідно, до зниження втоми та нервово-емоційного навантаження.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи було розроблено апаратно-програмний комплекс (АПК) пасивної акустичної локації (ПАЛ), що дозволяє на основі встановлювати сектор 60 градусів, у якому знаходиться джерело звукових коливань. Було здійснено підключення та зчитування даних з додаткових датчиків, перевірений функціонал по роботі з мережею на відстані. Реалізовано відображення результатів визначення сектору з джерелом звукових коливань у кроссплатформному месенджері Telegram.

Основною перевагою даного АПК ПАЛ є невеликі габарити та ціна, можливість глибокої модернізації, легкість підключення та розгортання, а

також зручність у зчитуванні даних. Даний АПК ПАЛ не потребує будь-яких налаштувань і є готовим до розгортання та роботи у будь-який час.

Основні недоліки розробленого комплексу – необхідність постійного живлення від розетки або портативних акумуляторів, неможливість роботи під дощем, невеликий радіус визначення сектору. Під час подальшого розвитку проекту можна додати більшу кількість датчиків звуку для більш точного визначення місцезнаходження цілі, а також збільшити кількість просторів, у яких відбувається визначення сектору.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Борцов В. В., Бойко А. П., Винар А. А., Журавська І. М., Кулаковська І. В. Просторове розміщення мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл. *В кн.: На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація* : монографія ; за заг. ред. С. В. Котлика. Одеса : Астропринт, 2021. С. 97–109.

2. Борцов В. В., Савінов В. Ю. Пристрій для визначення вектору направленості до джерела звукових коливань. *Могилянські читання – 2020* : тези доп. XXIII Всеукр. наук.-метод. конф., Миколаїв, 16–20 листоп. 2020 р. С. 65–67.

3. Борцов В. В., Журавська І. М. Визначення вектору направленості до джерела звукових коливань засобами пасивної локації на базі мінікомп'ютера Orange Pi. *Інформаційні технології і автоматизація – 2020* : зб. тез доп. XIII Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 22–23 жовт. 2020 р. С. 220–213.

## АНОТАЦІЯ

**Борцов В. В.** Апаратно-програмний комплекс для визначення місцезнаходження джерела звукових коливань на базі Orange Pi Zero. – Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» на здобуття освітньої кваліфікації «магістр з комп'ютерної інженерії». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2021.

Магістерська робота спрямована на створення апаратно-програмного комплексу (АПК) для визначення місцезнаходження джерела звукових коливань на основі методу пасивної акустичної локації (ПАЛ). Розглянуто існуючі системи акустичної локації, обрано та налаштовано апаратну частину на базі одноплатного мікрокомп'ютера Orange Pi Zero. У кросплатформному середовищі Visual Studio Code розроблено необхідне програмне забезпечення для роботи з датчиками звуку та передачею результатів до кросплатформного месенджера Telegram.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку джерел посилань, трьох додатків та спеціальної частини з охорони праці.

У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення магістерської роботи.

У першому розділі проведено огляд існуючих систем акустичної локації, обґрунтовано вибір методу пасивної акустичної локації (ПАЛ) для розробки АПК, побудовано наближений аналітичний розв'язок задачі визначення місцезнаходження об'єкта на площині за допомогою методу ПАЛ з трьома мікрофонами.

У другому розділі був проведений вибір апаратних компонентів, спроектовано принципову схему та конструкцію пристрою, проведено необхідні налаштування, а також встановлено необхідне системне програмне забезпечення (операційна система, бібліотеки) для подальшої роботи.

У третьому розділі описано процес розробки прикладного програмного забезпечення, що після отримання даних від датчиків звуку проводить необхідні розрахунки та виводить їх у зручній для користувача формі до кросплатформного месенджера Telegram. Під час написання вищезгаданих програм використовувалася .NET Core, а також додаткові бібліотеки (в рамках мови C#). Проведено перевірку працездатності запропонованого рішення;

встановлено, що розроблений АПК ПАЛ працює з точністю на рівні близько 85 % на відстані до 5 м від джерела звукових коливань.

У додатку А наведений скріншот перевірки на унікальність за допомогою системи Unichек.

У додатку Б наведений код програмного забезпечення.

У додатку В наведені скрішноти трьох публікацій за темою роботи.

У спеціальній частині з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях проаналізовано систему заходів і засобів по запобіганню впливу на людину несприятливих факторів, які супроводжують роботу працівника ІТ-сфери. Виконано аналіз освітлення та мікрокліматичних умов на робочому місці, управління цивільним захистом на підприємстві у разі виникнення пожежі.

Магістерська робота містить 60 с. (без додатків), 60 рис., 1 табл., 26 джерел посилання та 3 додатки.

**Ключові слова:** .NET Core, Orange Pi Zero, пасивна акустична локація, Telegram.

## ABSTRACT

**Bortsov V.** Hardware and software complex for determining the location of the source of sound oscillations based on Orange Pi Zero. – Qualification work of the master in the specialty 123 Computer Engineering for obtaining the educational qualification "Master of Computer Engineering". – Petro Mohyla Black Sea National University, 2021.

The master's thesis is aimed at creating a hardware-software complex (HSC) to determine the location of the source of sound vibrations based on the method of passive acoustic location (PAL). The existing acoustic location systems are considered, the hardware based on the Orange Pi Zero single-board microcomputer is selected and configured. In the cross-platform environment Visual Studio Code, the

necessary software has been developed to work with sound sensors and transmit results to the cross-platform messenger Telegram.

The explanatory note of the master's laurel consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of sources of references, three appendices and a special part on labor protection.

The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development of the master's thesis.

The first section reviews the existing acoustic location systems, builds an approximate analytical solution to the problem of determining the location of the object on the plane using the method of passive acoustic location with three microphones.

In the second section, the hardware components were selected, the device principal scheme and construction were designed, the necessary settings were made, and the necessary system software (operating system, libraries) was installed for further work.

In the third section, application software was developed that, receiving data from sound sensors, performs the necessary calculations, and then demonstrates them in a user-friendly form to cross-platform messenger Telegram. When writing the above programs, .NET Core was used, as well as additional libraries (within the C# language). The workability of the proposed solution was checked; it is established that the developed APC PAL works with an accuracy of about 85% at a distance of up to 5 m from the source of sound.

Appendix A represents the screenshot of the uniqueness test via Unicheck.

Appendix B provides the application software code.

Appendix C lists the benefits of three publications on the topic of the work.

The special part on labor protection and safety in emergencies analyzes the system of measures and means to prevent the impact on humans of adverse factors that accompany the work of an IT worker. The analysis of lighting and microclimatic conditions at the workplace, management of civil protection at the enterprise in case of fire is performed.

The master's thesis contains 60 pages (without appendices), 60 figures, 1 table, 26 references and 3 appendices.

**Keywords:** .NET Core, Orange Pi Zero, passive acoustic location, Telegram.