

УДК 351.861:504.064:614.8

*О. А. Левтеров, д.т.н., с.н.с., доц. каф. (ORCID 0000-0001-5926-7146)**Є. С. Стативка, ад'юнкт (ORCID 0000-0003-1536-2031)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ СПОРЯДЖЕННЯ РЯТУВАЛЬНИКА

Визначено оптимальне розміщення елементів акустичної системи орієнтування та спосіб ефективного екранування на спорядженні рятувальника для підвищення ефективності аварійно-рятувальних операцій в умовах обмеженої видимості та низької проникності світла. Проаналізовано вплив геометрії та конфігурації акустичних датчиків на їх взаємодію та визначення оптимальної мінімальної відстані між ними для поліпшення точності та ефективності системи орієнтування. Запропоновано їх ефективне екранування на шоломі рятувальника. Встановлено, що при достатньо малій відстані розміщення акустичних датчиків акустична якість та потужність акустичного сигналу зменшується, через явище інтерференції. Розроблено та реалізовано алгоритм компенсації взаємного впливу акустичних датчиків, розміщених в горизонтальній площині на захисному шоломі рятувальника. Розраховано та експериментально підтверджено мінімально допустиму відстань між акустичними датчиками, що дорівнює 0,04 м. Визначено оптимальний кутовий діапазон з використанням п'яти акустичних датчиків для точного просторового визначення перешкод у середовищі перед рятувальником на відстані до 2 метрів в умовах незадовільного візуального контролю. Розроблено алгоритм, що уникає взаємний вплив акустичного випромінювання акустичних датчиків один на одного, а також враховує відстань між датчиками згідно їх розташування на шоломі рятувальника. Створено алгоритм компенсації відстані між акустичними датчиками на шоломі рятувальника, враховуючи їх розташування в горизонтальній площині. Шляхом розрахунково-теоретичних досліджень розроблено підґрунтя для практичного створення акустичного приладу, з реалізованим алгоритмом, що автоматично корегує величину відстані, що виміряна датчиками попереду та датчиками позаду шолома рятувальника для одержання точних значень відстані до перешкодита забезпечити ефективну навігацію в умовах надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** акустичний пристрій, сенсор, акустичний опір, конфігурація, візуальний контроль, інтерференція

### 1. Вступ

В критичних умовах надзвичайних ситуацій (НС) рятувальники повинні виявляти високу ефективність у проведенні аварійно-рятувальних робіт для забезпечення безпеки та порятунку громадян. Однією з ключових складностей проведення рятувальних операцій в умовах з незадовільним візуальним контролем (НВК) середовища, де обмежена видимість та низька проникність світла – є процес навігації та орієнтації. Зокрема, пожежі, руйнування будівельних конструкцій, техногенні катастрофи та інші НС можуть призвести до зростання густини задимлення, що ускладнює пошук та евакуацію постраждалих. За таких умов значно зростає роль застосування сучасних засобів та передових технологій для пошуку та надання допомоги постраждалим.

Згідно з даними [1] зростання кількості загиблих та постраждалих в НС у 2022 році пов'язано зі значною їх кількістю унаслідок НС воєнного характеру державного рівня у зв'язку з широкомасштабним вторгненням на територію України 24 лютого 2022 року збройних сил російської федерації. За оперативними даними внаслідок бойових дій зруйновано та пошкоджено близько 169 тис. об'єктів інфраструктури, зокрема: 6 тис. 400 об'єктів життєзабезпечення, понад

1 тис. об'єктів транспортної інфраструктури, більше як 3 тис. закладів освіти, майже 1 тис. 300 закладів охорони здоров'я, 150 тис. 300 житлових будинків, 670 адміністративних будівель, понад 4 тис. 500 тис. інших (не військових) об'єктів.

Акустичний метод орієнтування рятувальників та акустичний метод порятунку потерпілих є важливою складовою системи аварійно-рятувальних робіт в умовах НС. Методичними рекомендаціями передбачено використання акустичних пристроїв і сигналів для вирішення завдань навігації, локації та орієнтування в умовах з НВК середовища, а також виявлення місцезнаходження та пошуку шляху, доступу до потерпілих.

Акустична система орієнтування має стати невід'ємною частиною спорядження та оснащення рятувальників. Тому розвиток наукового підґрунтя впровадження акустичної системи орієнтування рятувальників в умовах незадовільного візуального контролю є актуальною проблемою.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Методи орієнтування фахівців рятувальних служб у середовищі з НВК та виявлення потерпілих під завалами зруйнованих будівель відіграють критичну роль у проведенні рятувальних операцій в умовах НС.

Під час організації аварійно-рятувальних робіт з ліквідації наслідків НС пов'язаних з руйнуванням будівель, відповідно до [2] та методики [3], рятувальники використовують спеціальні прилади-геофони та метод прослуховування для пошуку потерпілих, що можуть перебувати під уламками будівлі. Проте не пояснюється, як точно акустична система визначає місцезнаходження потерпілих та яке її розширення зони покриття, необхідність визначення оптимального діапазону частот, кутового діапазону та рентабельної відстані для акустичної системи, щоб забезпечити ефективність в умовах НС з обмеженою видимістю та низькою проникністю світла.

У роботі [4] авторами для підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт у середовищі з НВК пропонується використання акустичної системи (акустичних датчиків) розміщеної на спорядженні рятувальника. Проте, не наводиться коректне налаштування конфігурації даних пристроїв та не аргументується оптимальне розміщення на захисному одязі або спорядженні рятувальника, що може призвести до того, що сигнали цих пристроїв будуть взаємно перешкоджати один одному, викликаючи збої у роботі системи та надавати недостовірні дані. Також, слід зазначити, що в роботі акустичні датчики пропонується розміщувати в горизонтальній площині на шоломі рятувальника у формі дуги, що призведе до різниці показників відстані. Ця різниця в розташуванні акустичних датчиків створює ускладнення при точному визначенні місця знаходження. У підсумку це може спричинити неточні вимірювання та обробку даних, а також обмежити систему в здатності надавати точні та надійні інформаційні сигнали. Для подолання цього недоліку та забезпечення оптимального функціонування акустичних датчиків, доцільно розглядати використання захисних екранів або інших методів для мінімізації впливу перешкод на роботу системи.

У роботі [5] застосовується система орієнтування газодимозахисників у задимленому середовищі з використанням ультразвукових датчиків відстані, які розміщені на шоломі рятувальника з виведенням показників відстані на виносний

екран. Але в роботі експериментально не підтверджено та не досліджено те, що система акустичних датчиків може генерувати неточні дані через можливий взаємний вплив акустичних датчиків між собою. Також складові акустичної системи на шоломі рятувальника можуть перешкоджати правильному розгляду об'єктів через спеціальний візор або маску, на якому автори зосереджують увагу, що може впливати на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт. Їх сигнали будуть взаємно перешкоджати один одному. У представленій роботі використовується одночасний запуск всіх акустичних датчиків в системі, що може створити конфлікти та взаємні перешкоди в роботі цих датчиків. Недолік може призвести до паралельної передачі імпульсів, які, в свою чергу, можуть взаємодіяти та впливати один на одного, створюючи додатковий шум та нестабільність в роботі системи орієнтування. Також, автори обмежилися розміщенням лише одного акустичного датчика на шоломі рятувальника. Цей підхід викликає обґрунтовані обмеження в можливості розпізнавання характеру перешкоди та визначенні її місцезнаходження. Одиночний датчик не забезпечує необхідної точності та надійності даних для ефективного функціонування акустичної системи. Для поліпшення цього аспекту дослідження, доцільно розглянути можливість розміщення додаткових датчиків на інших частинах спорядження рятувальника або додаткових точках, що дозволить збільшити точність та надійність системи.

Таким чином, існує невизначеність у підході до розміщення акустичних датчиків, а також відсутність конкретних рекомендацій з оптимального розташування та налаштування акустичних датчиків при їх роботі в умовах надзвичайної ситуації внаслідок пожежі.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Мета дослідження полягає у визначенні оптимального розміщення елементів акустичної системи орієнтування на спорядженні рятувальника для підвищення ефективності аварійно-рятувальних операцій в умовах обмеженої видимості та низької проникності світла.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання:

– визначити оптимальне розміщення акустичних датчиків та спосіб їх ефективного екранування на шоломі рятувальника для уникнення взаємного впливу та забезпечення точних вимірювань під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в умовах незадовільного візуального контролю;

– розробити та реалізувати алгоритм компенсації взаємного впливу акустичних датчиків, розміщених в горизонтальній площині на захисному шоломі рятувальника;

– визначити оптимальний кутовий діапазон з використанням п'яти акустичних датчиків для точного просторового визначення перешкод перед рятувальником на відстані до 2 метрів в умовах незадовільного візуального контролю.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – параметри акустичного пристрою в умовах надзвичайної ситуації. Предмет дослідження – процес розповсюдження акустичних хвиль в умовах НС. Гіпотеза дослідження – відмінності значень параметрів акустичного пристрою в умовах НС.

Методи дослідження – модельний експеримент, натурний експеримент, ста-

тистична обробка експериментальних даних. При виконанні роботи застосовувалися емпіричні, теоретичні, функціональні та системні методи дослідження.

Дослідження проводили методом натурного експерименту із використанням апаратних засобів (акустичних датчиків HC-SR04 та HC-SR05, процесору ATMEGA 2560, обладнання для монтажу акустичної системи на спорядженні рятувальника, захисний шолом рятувальника PAB Fire 05); програмних засобів.

### 5. Визначення оптимального розміщення акустичних датчиків на спорядженні рятувальника

Дослідження полягає в ретельному вивченні впливу геометрії та конфігурації акустичних датчиків на їх взаємодію, а також у визначенні оптимальної мінімальної відстані між датчиками. Це необхідно для досягнення точності виявлення перешкод та мінімізації кількості похибок в роботі системи.

Для визначення мінімальної допустимої відстані між акустичними датчиками на шоломі рятувальника необхідно звернути увагу на аналіз ефекту екранування. Один із аспектів експерименту охоплює вимірювання при різних відстанях між датчиками, з урахуванням можливого взаємного впливу.

В цьому контексті датчики будуть розташовані на спеціальному макеті, що імітує голову рятувальника. На рис. 1 (вид згори) можна побачити графічне представлення розташування датчиків на шоломі.

Експериментальний підхід дозволяє систематично досліджувати взаємодію між акустичними датчиками при різних відстанях і враховувати можливий ефект екранування. Проведення вимірювань у середовищі з НВК дозволить знайти оптимальну мінімальну допустиму відстань між датчиками, яка забезпечить надійну та точну роботу системи орієнтування.

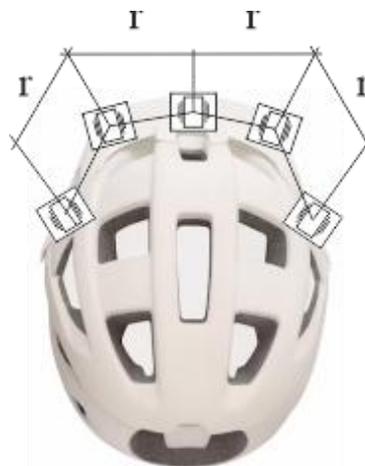


Рис. 1. Схема розміщення датчиків акустичної дії на захисному шоломі рятувальника PAB Fire 05 (□ – акустичний датчик,  $r$  – мінімально допустима відстань між датчиками)

Першим етапом є визначення початкових параметрів таких як розташування датчиків на захисному шоломі, згідно [6], рятувальника та орієнтування в просторі.

Переважає більшість сучасного спорядження, призначеного для захисту голови, розрахована на розмір від 55 см до 66 см в обхваті. При визначенні розташування датчиків на шоломі для рятувальників слід враховувати внутрішній діаметр шолома. Зазвичай цей параметр використовується для визначення розміру голови людини і, відповідно, розміру каски.

Формула для мінімальної відстані між датчиками, згідно [7], враховуючи їх кути розсіювання набудатиме вигляд: нехай  $D$  – діаметр голови (внутрішній діаметр шолома),  $N$  – кількість датчиків,  $A$  – кут розсіювання кожного датчика. Для того, щоб датчики перекривались мінімально, можна використовувати геометричну прогресію для визначення мінімальної відстані між центрами сусідніх датчиків.

Відстань між центрами датчиків можна визначити за допомогою наступної формули (1) для геометричної прогресії:

$$D_i = D \cdot \frac{1-r^N}{1-r}, \quad (1)$$

де  $D_i$  – відстань між центром поточного датчика  $i$  і центром сусіднього,  $r$  – коефіцієнт прогресії. Визначити коефіцієнт прогресії можна за формулою (2):

$$r = \cos\left(\frac{A}{2}\right). \quad (2)$$

Тепер, знаючи відстань між центрами датчиків, можна визначити мінімальну відстань між ними за виразом (3):

$$D_{\min} = D_i - D. \quad (3)$$

Ця формула враховує геометричний аспект розташування датчиків на шоломі.

Датчики розміщено на висоті 10–15 см від основи шолома. Кутовий діапазон [8] роботи сонарів HC-SR04 дорівнює  $15^\circ$ , тоді згідно формули (3) мінімальна допустима відстань між акустичними датчиками дорівнює 0,04 м.

Для експериментального підтвердження виконаних розрахунків необхідно провести серію дослідів. Вимірюємо вплив розташування на точність визначення напрямку та відстані до перешкод.

Зміна відстані  $r$  між акустичними датчиками впливає на їх показання. Отримані дані заносимо до табл. 1.

Кут відхилення в дослідженні вказує на ступінь відхилення акустичних датчиків від їхнього основного напрямлення.

**Табл. 1. Дані показань відстані акустичними датчиками на дистанції 2 м до перешкоди**

Кут відхилення, $^\circ$	Відстань між датчиками, м	Показання відстані акустичними датчиками				
		Датчик 1	Датчик 2	Датчик 3	Датчик 4	Датчик 5
0	0,04	1,85	1,92	1,78	1,8	1,95
15	0,08	20,0	1,88	1,65	1,75	1,92
30	0,12	2,33	1,67	1,52	18,1	2,05

Ці спостереження слід врахувати при подальших дослідженнях та розробці концепцій оптимального розміщення акустичних датчиків для підвищення надійності та точності системи орієнтування рятувальників.

**Табл. 2. Середні значення показань акустичних датчиків на відстані 2 м**

Кут відхилення (градуси)	Відстань між датчиками, м	Середнє показання, м
30	0,12	1,77
15	0,08	1,84
0	0,04	1,86

З табл. 2 випливає, що точність виміру відстані до перешкоди буде найвища тоді, коли відстань між датчиками наближається до значення 0,04 м. Так як середнє показання становить при цьому 1,86 м і наближається до сталої величини 2 м.

### **6. Розробка алгоритму компенсації взаємного впливу акустичних датчиків**

Пропозиція для вирішення проблемного питання полягає у використанні послідовного вимикання акустичних датчиків з системи на короткий часовий інтервал. Це дозволить кожному датчику працювати і передавати інформацію без втручання з боку інших датчиків, що значно поліпшить стабільність та точність роботи системи в умовах надзвичайних ситуацій та забезпечить надійність отриманих даних.

З допомогою інтерпретованої об'єктно-орієнтованої мови програмування [9] створимо алгоритм послідовного вимикання датчиків для системи з п'ятьма датчиками. У цьому прикладі використовується цикл, щоб послідовно активувати кожен датчик на короткий часовий інтервал.

Програмний код алгоритму має вигляд:

```
{
defactivate_sensor(sensor_number):
print(f" {sensor_number}")
defdeactivate_sensor(sensor_number):
print(f" {sensor_number}")
Кількість датчиків
num_sensors = 5
Тривалість активації кожного датчика
activation_duration = 0.05 (50 мілісекунд)
forsensor_number inrange(1, num_sensors + 1):
activate_sensor(sensor_number)
deactivate_sensor(sensor_number).
}
```

Завдання полягатиме в усуненні відхилень у показаннях датчиків шляхом використання алгоритмів обчислення відстані та зведення п'яти значень до одного числового середнього для отримання найбільш точних результатів, встановлення оптимальних параметрів алгоритму компенсації та обчислення відстані для забезпечення точності та стабільності роботи системи в умовах НВК середовища.

При врахуванні різниці в показаннях датчиків необхідно використовувати алгоритм, що автоматично додає відстань, виміряну датчиками попереду, до

відстані, виміряної датчиками позаду шолома, щоб отримати більш точне показання відстані до перешкоди.

Для реалізації алгоритму компенсації [10] відстані між акустичними датчиками на шоломі рятувальника, враховуючи їх розташування в горизонтальній площині, використовуємо наступний підхід. Припустимо, що ми маємо п'ять акустичних датчиків, які розташовані в горизонтальній площині, і вони відділені один від одного на 4 см. Зазначимо відстань між першим і п'ятим датчиками як –  $D$  (відстань між ними, а також врахування діаметра голови рятувальника). За допомогою цієї величини  $D$  можна розрахувати компенсацію для показань датчиків. Нехай  $d_1$  буде відстанню, виміряною першим датчиком, і  $d_5$  – відстанню, виміряною п'ятим датчиком. Тоді компенсована відстань  $d_{\text{comp}}$  для першого датчика може бути розрахована з допомогою виразу (4):

$$d_{\text{comp}} = d_1 - \frac{4}{D} \times (d_5 - d_1). \quad (4)$$

Ця формула враховує відстань між датчиками і компенсує різницю у відстанях шляхом додавання частини відстані між п'ятим і першим датчиками до виміряної відстані першого датчика.

Аналогічно можна розглядати інші датчики, змінюючи індекси в формулі відповідно до їх порядкового номеру.

Важливо враховувати, що цей підхід передбачає лінійний характер зміни відстаней між датчиками. Якщо виникають складніші умови, може знадобитися використовувати більш складні моделі або методи компенсації.

Також розглянуто використання захисних екранів та перегородок [11] між датчиками для мінімізації взаємного впливу. В ході досліджень виявлено, що застосування захисних екранів дозволяє значно знизити взаємний вплив сигналів між окремими датчиками, що призводить до більш точних вимірювань. В середньому, використання захисних екранів покращувало точність вимірювань на 15–20 %.

**Табл. 3. Кореговані значення показань акустичних датчиків на відстані 2 м після застосування алгоритму компенсації**

Кут відхилення (градуси)	Кореговане показання
30	1,85
15	1,86
0	1,87

Після виконання дій запропонованих методів можна порівняти дані табл. 2 та табл. 3. Однак результати можуть залежати від конкретних умов експлуатації та характеристик самого захисного матеріалу.

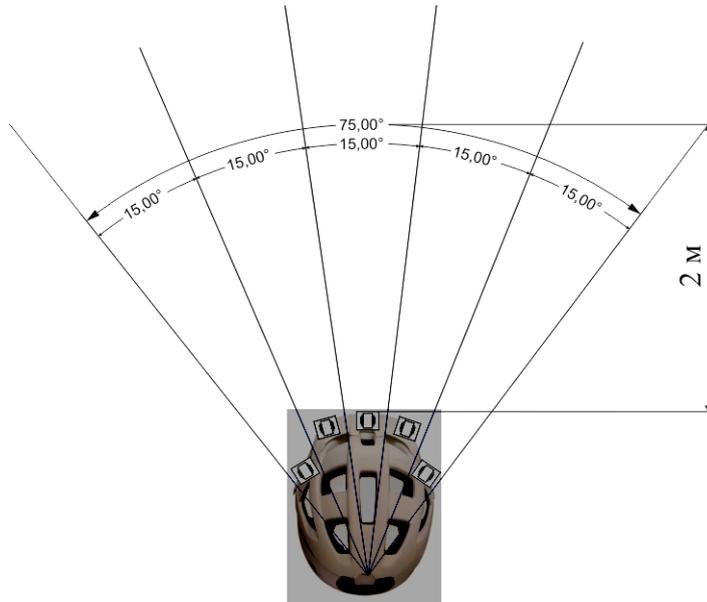
## **7. Визначення оптимального кутового діапазону акустичної системи визначення відстані**

Мета завдання полягатиме в покращенні ефективності системи орієнтування шляхом визначення оптимального кутового діапазону, який забезпечить визначення місцезнаходження перешкод та покращить загальну навігацію рятувальника в умовах обмеженої видимості та низької проникності світла.

Для вирішення завдання необхідний комплексний підхід, спрямований на

максимізацію точності та ефективності системи. Одними з важливих аспектів дослідження є ретельний аналіз різноманітних сценаріїв використання системи та моделювання діаграм направленості для визначення того, які кути охоплюються датчиками системи. Врахування потенційних перешкод, особливостей середовища та унікальних вимог користувачів дозволяє визначити оптимальні параметри кутового діапазону для максимально ефективного функціонування.

Відомо, що кут прийому одного датчика HC-SR04 складає  $15^\circ$ . З урахуванням цього параметру, система, обладнана п'ятьма датчиками, охоплює простір приблизно в  $75^\circ$ . Такий конфігураційний підхід дозволяє широко покривати область перед собою та ефективно реагувати на зміни у середовищі.



**Рис. 2.** Захисний шолом РАВ Fire 05 та схема розташування з окремим поділом кутового діапазону середовища для окремого акустичного датчика (вид згори:  – акустичний датчик;  – напрям поширення акустичних хвиль)

Першим етапом є визначення початкових параметрів таких, як розташування датчиків на спорядженні рятувальника та їх орієнтування в просторі. Для аналізу візьмемо типову структуру європейського шолома рятувальника РАВ Fire 05, який зображено на рис. 2 (вид згори) та схему розподілу кутового діапазону кожного окремого акустичного датчика.

Для розрахунку оптимального кутового діапазону використовується наступний алгоритм:

1) Визначення просторових обмежень, враховуючи конструкцію каски [12], обмеження її геометрії та області видимості.

2) Розташування датчиків в горизонтальній площині на шоломі на мінімально допустимій відстані із розділу 5 даного дослідження.

3) Визначення мінімально допустимої відстані між датчиками, при якій не виникає взаємної інтерференції.

4) Розрахунок кутового діапазону на основі результатів експериментів для забезпечення ефективності системи орієнтації.

5) Підтвердження отриманих результатів через серію тестових вимірювань.

Математичне підтвердження того використання датчиків з кутовим діапазо-

ном  $15^\circ$  і мінімальної відстані між ними 4 см для виключення утворення явища інтерференції має вигляд.

$$D_{\min} > A_{(\text{датчика})} \times \operatorname{tg}\left(\frac{A_{(\text{датчика})}}{2}\right), \quad (5)$$

$$D_{\min} > 15^\circ \times 0,133,$$

$$D_{\min} > 2,0 \text{ см},$$

де  $A_{\text{датчика}}$  – кутовий діапазон одного датчика ( $15^\circ$ ),  $D_{\min}$  – мінімальна відстань між датчиками (0,04 м).

Отже, з розрахунку випливає, що мінімальна відстань між обраними датчиками повинна становити більше ніж 2 см.

## 8. Обговорення результатів визначення параметрів акустичного приладу екіпірування рятувальників

Оптимальне розташування датчиків на шоломі рятувальника враховує геометричні аспекти та конфігурацію, забезпечуючи максимальне охоплення простору та мінімізацію взаємодії між ними. З отриманих результатів дослідження (табл. 1) випливає, що точність виміру відстані до перешкоди буде найвища тоді, коли відстань між датчиками наближається до значення 0,04 м. Так як середнє показання становить при цьому 1,86 м і наближається до сталої величини 2 м (табл. 2).

Використання захисних екранів або перегородок допомагає мінімізувати взаємний вплив датчиків, поліпшуючи точність та ефективність визначення відстані. Захисні екрани або перегородки можуть захищати датчики від непотрібних електромагнітних сигналів, які можуть виникати в рятувальному середовищі. Таким чином в окремих випадках, підвищуючи якість вимірювання дистанції на 15–20%. Захисні елементи служать бар'єром для механічних впливів, таких як удари чи тертя, що можуть впливати на точність роботи датчиків.

За допомогою алгоритму послідовного вимикання, реалізації програмного забезпечення досягається ефективне управління взаємодією з датчиками, а також зменшується ймовірність виникнення помилок через взаємний вплив. Використання одного датчика в певний момент часу дозволяє системі зосередитися на обробці сигналу з конкретного датчика, зменшуючи ймовірність конфліктів в системі.

В дослідженні запропоновано використання алгоритму, де кожен датчик має методи, що моделюють активацію та деактивацію датчика відповідно. Головна функція утворює п'ять датчиків, а потім послідовно активує та деактивує кожен датчик з інтервалом у 1 мкс.

Визначення оптимального кутового діапазону сприяє поліпшенню навігації рятувальника в умовах надзвичайних ситуацій, забезпечуючи точне визначення місцезнаходження перешкод. Система орієнтується на конкретні області навколишнього простору, спрощуючи процес збору інформації.

Розташовуючи датчики у формі круга чи іншої геометричної форми з відповідними кутами між ними так, щоб кожен з них охоплював свій унікальний сектор

тор простору, а кути прийому датчиків перекривалися дозволяє ефективно виявляти об'єкти або перешкоди в широкому кутовому діапазоні, що корисно для навігації та уникнення перешкод. При використанні 5-ти датчиків (рис.1), якщо кожен охоплює  $15^\circ$  кутового діапазону випромінювання і вони розташовані так, щоб їхні зони перекривались, то в сумі забезпечується охоплення простору приблизно в  $75^\circ$  (рис. 2).

Запропоновані пропозиції розміщення елементів акустичної системи враховують геометричні особливості шолома рятувальника, що дозволяє максимально ефективно використовувати простір перед рятувальником та мінімізувати взаємодію між датчиками.

Система ефективно працює в умовах обмеженої видимості та низької проникності світла, що є важливим фактором при ліквідації наслідків НС. Рішення можуть бути застосовані в сценаріях, при яких рятувальники опиняються в умовах з обмеженою видимістю та потребують точної навігації, в умовах підвищеної температури та високої концентрації зважених частинок.

Під час специфічних умов експерименту результати адаптуються лише під специфічні умови експерименту, не враховуючи різноманіття сценаріїв НС. Обмеження в точності, дальності вимірювань та інших характеристиках акустичних датчиків впливає на загальну ефективність системи. Необхідно вдосконалювати технічні характеристики датчиків, розроблювати нові технології акустичного виявлення.

Під час проведення досліджень проявляється недостатність вивчення реальних умов порятунку та взаємодії з іншими факторами, які виникають під час ліквідації наслідків НС. Необхідне включення до експериментів реальних умов, співпраця з рятувальниками та експертами для отримання додаткового контексту.

Система з визначеним оптимальним кутовим діапазоном в  $75^\circ$  може мати обмежений огляд порівняно з кутом обзору людських очей в  $170^\circ$ . Це вказує на те, що система може фокусуватися на конкретних областях, тоді як людина може одночасно спостерігати за більш широким простором. Враховуючи це розходження, важливо оптимізувати роботу системи для конкретних завдань. Наприклад, якщо ліквідація наслідків НС передбачає обстеження широкого простору, систему може використовувати додаткові стратегії, такі як обертання або маневр, щоб охопити більшу територію.

Обмежений бюджет впливає на можливість використання новітніх технологій та обладнання. Можливе залучення фінансування та співпраця з індустрією для забезпечення доступності та використання передових технологій.

Розвиток даного дослідження може включати в себе кілька напрямків:

- покращення технічних характеристик акустичних датчиків;
- визначення впливу інших факторів НС;
- проведення таких досліджень може включати співпрацю з іншими вченими, інженерами та фахівцями рятувальних служб.

Під час проведення досліджень можливо зіткнутися з такими труднощами:

- при математичному моделюванні, електрична реалізація та розробки систем автономного забезпечення акустичної системи;
- створення алгоритмів обробки та аналізу даних;

- створення стандартів та протоколів безпеки для застосування системи в реальних умовах.

## 9. Висновки

1. Визначено оптимальне розміщення акустичних датчиків та їх ефективного екранування на шоломі рятувальника для уникнення взаємного впливу та забезпечення точних вимірювань під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в умовах незадовільного візуального контролю. Встановлено, що при достатньо малій відстані між акустичними датчиками потужність акустичного сигналу зменшується через явище інтерференції. Розраховано та експериментально підтверджено мінімально допустиму відстань між акустичними датчиками, що дорівнює 0,04 м.

2. Розроблено та реалізовано алгоритм компенсації взаємного впливу акустичних датчиків, що враховує відстань між датчиками згідно їх розташування на шоломі рятувальника, а також уникає взаємний вплив акустичного випромінювання акустичних датчиків один на одного. Проаналізовано використання захисних екранів та перегородок між датчиками для мінімізації взаємного впливу.

3. Визначено оптимальний кутовий діапазон з використанням п'яти акустичних датчиків для точного просторового визначення перешкод перед рятувальником на відстані до 2 метрів в умовах незадовільного візуального. Розроблений сценарій направленості системи акустичних датчиків для визначення кутових діапазонів. Кут прийому одного датчика – 15 градусів, таким чином п'ять датчиків забезпечать охоплення простору приблизно в 75 градусів.

## Література

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2022 році. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/6/4/9/3/5/0/publicni-i-zvit-2022-ostannia-versiia-1.pdf>

2. Наказ МВС від 26.04.2018 № 340 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text>

3. Ратушний Р. Т., Лоїк В. Б., Синельников О. Д., Ковальчук В. М. Навчальний посібник. Організація аварійно-рятувальних робіт. Видавництво ЛДУ БЖД. Львів, 2020. 394 с. URL: <https://books.ldubgd.edu.ua/index.php/ed/catalog/download/90/56/260-2?inline=1>

4. Левтеров О. А., Стативка Є. С. Визначення параметрів акустичного приладу екіпірування рятувальників. Problems of Emergency Situations. 2022. № 2. С. 280–295. doi: 10.52363/2524-0226-2022-36-21

5. Бас О. М., Лагно Д. В., Ножко І. О., Пелипенко М. Р. Використання ультразвуку для орієнтування у задимленому середовищі. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2021. №1. С. 15–26. doi: 10.31731/2524-2636.2021.5.1.-15-26

6. Каска пожежна. Технічні вимоги. Затверджено протоколом від 23.06.2023 № 12. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/8/2/3/0/8/1/kaska-pozezna-texnicni-vimogi-civil-security>. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-20

zatverdzeno-protokolom-vid-23062023-12docx.pdf

7. Hiremath N., Kumar V., Motahari N., Shukla D. An Overview of Acoustic Impedance Measurement Techniques and Future Prospects. *Metrology*. 2021. P. 17–38. doi: 10.3390/metrology1010002

8. Kirtskhalia V. The dependence of the speed of sound in the Earth's atmosphere on its density and the correction of Mach's number. *Ilia Vekua Sukhumi Institute of Physics and Technology. Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/1024/1/012037

9. Tei K., Shimizu R., Fukazawa Y., Honiden S. Model-Driven-Development-Based Stepwise Software Development Process for Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. Vol. 45. P. 675–687. doi: 10.1109/TSMC.2014.2360506

10. Teregulova E. A. Features of the Passage of Acoustic Waves at Right Angle through a System of Layers of Multifractional Gas Suspensions. *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2021. P. 2222–2225. doi: 10.1134/S1995080221090262

11. Choon M. P., Sang H. Lee. Propagation of acoustic waves in a metamaterial with a refractive index of near zero. *Applied Physics Letters*. 2013. P. 46–57. doi: 10.1063/1.4811742

12. Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S., Shchipets S. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. № 02027. doi: 10.1051/mateconf/201711602027

13. Wilk-Jakubowski J. Analysis of Flame Suppression Capabilities Using Low-Frequency Acoustic Waves and Frequency Sweeping Techniques. *Department of Information Systems. Kielce University of Technology*. 2021. P. 5–8. doi: 10.3390/sym13071299

*A. Levterov, DSc, Senior Researcher, Associate Professor of the Department*

*Y. Statyvka, Adjunct*

*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

#### **OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE PLACEMENT OF ELEMENTS OF THE ACOUSTIC SYSTEM FOR ORIENTATION OF RESCUER'S EQUIPMENT**

The optimal placement of the elements of the acoustic orientation system and the method of effective shielding on the rescuer's equipment to improve the efficiency of rescue operations in conditions of limited visibility and low light transmission are determined. The influence of the geometry and configuration of acoustic sensors on their interaction and the determination of the optimal minimum distance between them to improve the accuracy and efficiency of the orientation system is analyzed. Their effective shielding on a rescuer's helmet is proposed. It is established that at a sufficiently small distance between the acoustic sensors, the acoustic quality and power of the acoustic signal decreases due to the phenomenon of interference. An algorithm for compensating for the mutual influence of acoustic sensors placed in a horizontal plane on a rescuer's protective helmet was developed and implemented. The minimum permissible distance between acoustic sensors equal to 0,04 m was calculated and experimentally confirmed. The optimal angular range using five acoustic sensors for accurate spatial detection of obstacles in the environment in front of a rescuer at a distance of up to 2 meters under conditions of unsatisfactory visual control is determined. An algorithm has been developed that avoids the mutual influence of acoustic radiation from acoustic sensors on each other and also takes into account the distance between the sensors according to their location on the rescu-

er's helmet. An algorithm for compensating for the distance between acoustic sensors on a rescuer's helmet, taking into account their location in the horizontal plane, has been developed. By means of calculation and theoretical studies, the basis for the practical creation of an acoustic device with an implemented algorithm that automatically corrects the distance measured by the sensors in front of and behind the rescuer's helmet to obtain accurate values of the distance to the obstacle and ensure effective navigation in emergency situations.

**Keywords:** acoustic device, sensor, acoustic resistance, configuration, visual control, interference

## References

1. Zvit pro osnovni rezultaty diialnosti Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychnykh sytuatsii u 2022 rotsi. Available at: <https://dsns.gov.ua/upload/1/6/4/9/3/5/0/publicnii-zvit-2022-ostannia-versiia-1.pdf>

2. Nakaz MVS vid 26.04.2018 № 340 «Pro zatverdzhennia Statutu dii u nadzvychnykh sytuatsiiakh orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvalnoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu ta Statutu dii orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvalnoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu pid chas hasinnia pozhezh». Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text>

3. Ratushnyi, R. Loik, V. Synelnikov, O. Kovalchuk V. (2020). Orhanizatsiia avariino-riatuvalnykh robot. Lviv: Vydavnytstvo LDU BZhD, 394. Available at: <https://books.ldubgd.edu.ua/index.php/ed/catalog/download/90/56/260-2?inline=1>

4. Lievtierov, O. A., Statyvka, Y. S. (2022). Vyznachennia parametriv akustychnoho prykladu ekipiruvannia riatuvalnykiv. Problems of Emergency Situations, 2(36), 280–295. doi: 10.52363/2524-0226-2022-36-21

5. Bas, O., Lahno, D., Nozhko, I., Pelypenko, M. (2021). Vykorystannia ultrazvuku dlia oriientuvannia u zadymlenomu seredovyshchi. Nadzvychni sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia, 1, 15–26. doi: 10.31731/2524-2636.2021.5.1.-15-26

6. Kaskapozhezhna. Tekhnichni vymohy. Zatverdzheno protokolom vid 23.06.2023 № 12. Available at: <https://dsns.gov.ua/upload/1/8/2/3/0/8/1/kaska-pozezna-technicni-vimogi-zatverdzeno-protokolom-vid-23062023-12docx.pdf>

7. Hiremath, N., Kumar, V., Motahari, N., Shukla, D. (2021). An Overview of Acoustic Impedance Measurement Techniques and Future Prospects. Metrology, 17–38. doi: 10.3390/metrology1010002

8. Kirtskhalia, V. (2021). The dependence of the speed of sound in the Earth's atmosphere on its density and the correction of Mach's number. Iliia Vekua Sukhumi Institute of Physics and Technology. Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/1024/1/012037

9. Tei, K., Shimizu, R., Fukazawa, Y., Honiden, S. (2014). Model-Driven-Development-Based Stepwise Software Development Process for Wireless Sensor Networks. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 45, 675–687. doi: 10.1109/TSMC.2014.2360506

10. Teregulova, E. A. (2021). Features of the Passage of Acoustic Waves at Right Angle through a System of Layers of Multifractional Gas Suspensions. Lobachevskii Journal of Mathematics, 2222–2225. doi: 10.1134/S1995080221090262

11. Choon, M., Sang, H. (2013). Propagation of acoustic waves in a metamaterial with a refractive index of near zero. Applied Physics Letters, 46–57. doi: 10.1063/1.4811742

12. Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S., Shchipets, S. (2017). Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. MATEC Web of Conferences, 116, 02027. doi: 10.1051/mateconf/201711602027

13. Wilk-Jakubowski, J. (2021). Analysis of Flame Suppression Capabilities Using Low-Frequency Acoustic Waves and Frequency Sweeping Techniques. Department of Information Systems. Kielce University of Technology, 5–8. doi: 10.3390/sym13071299

Надійшла до редколегії: 20.09.2023

Прийнята до друку: 07.11.2023