

## ВИЗНАЧЕННЯ КОРИГУЮЧИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОГО ПРИБОРУ СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ ПРИ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБОТАХ

У 2021 році в Україні зареєстровано 124 надзвичайні ситуації (НС) [1]. Внаслідок цих надзвичайних ситуацій загинуло 148 осіб (з них 16 дітей) та постраждало 545 осіб (з них 323 дитини). В багатьох випадках обставини, що призвели до загибелі та травмування людей невідомі. Також нерідко ушкоджень зазнають самі рятувальники. Можна зробити припущення, що отримані травми, під час проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР), також пов'язані з неможливістю оперативно отримувати інформацію про навколишні обставини в приміщеннях з незадовільним візуальним контролем (далі НВК).

Створення і впровадження нових ефективних методів, або пристроїв для орієнтування в просторі з НВК є запорукою збереження життя рятувальників та оперативного порятунку постраждалих. Запропоновано застосування акустичних пристроїв, як додатковий засіб орієнтування. В додаток з уже існуючими системами орієнтування в просторі з НВК вони підвищують ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт.

Небезпечні фактори НС (затимлення, заповишеність, висока температура) впливають на фізичні властивості акустичних хвиль. У зв'язку з цим, при розробці акустичного приладу, призначеного для ефективного використання в означених умовах, тобто для підвищення чутливості та точності його роботи, необхідно визначити поправочні коефіцієнти, що враховують кут падіння, об'єм зважених частинок, температуру, хвильовий опір середовища та експериментально встановити границі значень їх впливу.

Ознайомившись з дослідженнями [1-3] запропоновано враховувати кут падіння, концентрацію зважених частинок, температуру середовища, хвильовий опір середовища при визначенні параметрів перешкоди та відстані до неї з метою підвищення точності вимірів. Для визначення поправочних коефіцієнтів необхідно враховувати поширення та згасання акустичних хвиль у середовищі з виваженими твердими частинками продуктів горіння або краплинами рідини. У випадку падіння плоскої акустичної хвилі на межу поділу двох середовищ хвиля частково відіб'ється, а частково пройде. Амплітуда кожної хвилі (що відбилася і що пройшла) визначатиметься коефіцієнтом відображення (1):

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

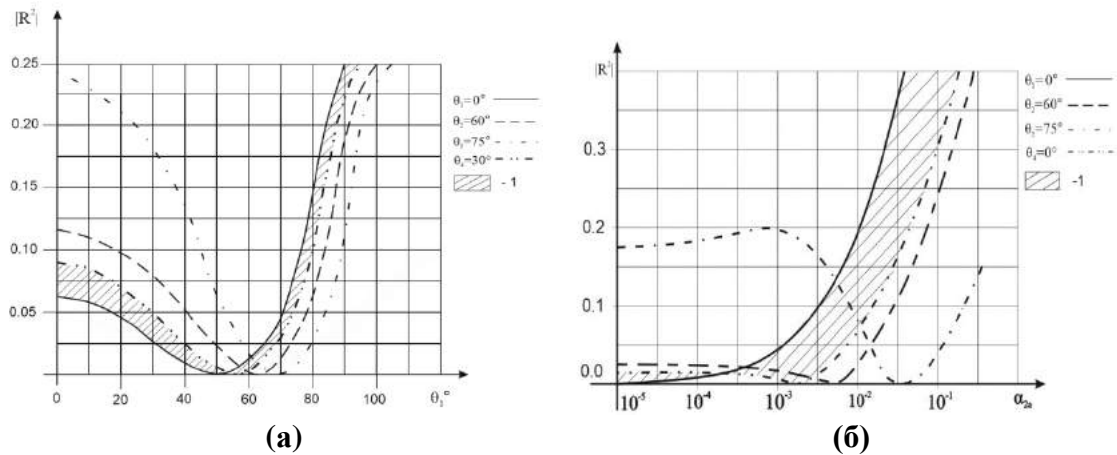
де

$$Z_i = \frac{\rho_i C_i}{\cos \theta_i} \quad (2)$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{C_2}{C_1} \sin \theta_1\right) \quad (3)$$

де  $Z_i$  – хвильовий опір середовища,  $R$  – коефіцієнт відображення,  $\rho_i$  – щільність,  $C_i$  – швидкість звуку,  $\theta_1$  – кут, під яким падає хвиля,  $i = 1, 2$  – індекс і означає номер середовища.

На рис. 1(а) представлений графік залежностей коефіцієнта відображення від кута падіння хвилі  $\theta_1$  при різному об'ємному вмісту крапель першої фракції.



**Рисунок 1 – Криві залежності коефіцієнта відображення акустичних хвиль від кута падіння при об'ємному вмісті включень (а) та при різних кутах падіння (б)**

На рис. 1(б) наведено результати порівняння коефіцієнта відображення в залежності від об'ємного вмісту часток (крапель) першої фракції, або виважених частинок при різних кутах падіння  $\theta_1$ . Тут початкова концентрація пари  $k_{v0} = 0.01$ , об'ємний вміст частинок другої фракції  $\alpha_b = 0.005$ .

При нормальному падінні ( $\theta_1 = 0^\circ$ ) акустичної хвилі крива є монотонною, а при збільшенні кута падіння хвилі до  $60^\circ$  і до  $75^\circ$  монотонність пропадає. Так, при падінні хвилі під кутом  $\theta_1 = 60^\circ$  величина практично не змінюється при об'ємних вмістах крапель  $\alpha_{2a} < 10^{-3}$  і набуває деякого постійного значення. Тобто, за об'ємного вмісту крапель першої фракції, або виважених частинок від  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  коефіцієнт відображення практично не змінюється. Тільки після збільшення об'ємного вмісту до  $10^{-2}$  простежується зміна коефіцієнту відображення акустичних хвиль.

У зв'язку з тим, що додатковий пристрій розміщено на шоломі рятувальника, то кут падіння акустичної хвилі, практично в усіх випадках при виконанні рятувальних робіт, знаходиться у діапазоні  $0^\circ$ - $30^\circ$ . Тому параметри, що враховують вплив на акустичні хвилі в умовах НС внаслідок пожежі (коригуючі коефіцієнти) знаходяться у заштрихованій області 1 (див. рис. 1(а) та 1(б)). Ці параметри будуть задані у вигляді поліному, для подальшого використання у програмних засобах блоку управління додатковим пристроєм акустичної дії.

У просторі безперервно змінюються швидкість, сила, напрям потоку (вплив температурного градієнту), а також температура, тому поширення звукових хвиль відбувається постійно в нових умовах, згасання звуку зростає внаслідок відбиття, розсіювання та подовження шляху, що проходить звуком (при температурі  $-20^\circ\text{C}$  звук проходить 318 м/с, а за температури  $+20^\circ\text{C}$  – 344 м/с).

Згідно Закону Бойля-Маріотта вираз для швидкості акустичних хвиль у повітрі виглядає наступним чином (4):

$$c = \sqrt{\frac{\chi R}{\mu} T} \quad (4)$$

де  $\chi = c_p / c_v$  – відношення теплоємностей при постійному тиску та постійному об'ємі,  $\mu$  – молекулярна вага газу;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – температура,  $^\circ\text{K}$ .

Поняття хвильового опору (імпедансу) в акустиці, відповідно, використовують для характеристики середовища, в якому поширюються хвильові збурення, та для опису властивостей випромінювачів звуку. Величина хвильового опору визначається

відношенням амплітуди тиску до амплітуди швидкості руху частинок середовища в напрямку, перпендикулярному фронту хвилі. Із виразів для вказаних характеристик плоскої хвилі одержуємо вираз (5):

$$|Z| = \rho c \quad (5)$$

де відповідно:  $Z_i$  – хвильовий опір середовища,  $\rho$  – густина середовища,  $c$  швидкість звуку в ньому. Плоска хвиля не "розрізняє" середовища, які мають однакові хвильові опори. Для визначення відстані до перешкоди та її форми отримаємо вираз (6):

$$r = \frac{\sqrt{\frac{\chi R}{\mu}} T_{kt}}{2} = \frac{|Z|}{2\rho} k t \quad (6)$$

де  $Z_i$  – хвильовий опір середовища,  $R$  – коефіцієнт відображення,  $\rho_i$  – щільність,  $C_i$  – швидкість звуку,  $i = 1, 2$  - індекс  $i$  означає номер середовища.

Таким чином, при застосуванні акустичного пристрою як додаткового засобу для орієнтування в просторі з незадовільним візуальним контролем, необхідно враховувати коефіцієнт відображення  $k$ , хвильовий імпеданс  $Z$ , температуру середовища  $T(^{\circ}\text{K})$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт Голови ДСНС від 22 лютого 2022 року «Про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2021 році» // Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України URL: <https://www.kmu.gov.ua/>.
2. Gubaidullin D. A., Zaripov R. R. Reflection of an acoustic wave from the boundary of amultifractional polydisperse gas-particle suspension // Journal of Physics, 2018. Conf. Series 1328 (2019).
3. Tarau C., Otygen M.V. Propagation of acoustic waves through regions of non-uniform temperature // International Journal of Aeroacoustics, 2002. Vol. 1, Issue 2.
4. Р. М. Галаган. Проходження хвиль через плоскі межі середовищ при нормальному та похилому падінні // Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю, 2019. С. 56-63.

*Y. Statyva, National University of Civil Protection of Ukraine*

## DETERMINATION OF THE CORRECTING COEFFICIENTS OF THE PARAMETERS OF THE ACOUSTIC DEVICE OF THE ORIENTATION SYSTEM IN EMERGENCY AND RESCUE OPERATIONS

The most influential characteristics of the emergency situation due to fire on acoustic waves have been determined. It is proposed to use correction coefficients that take into account the influence of emergency characteristics on acoustic waves. It is proposed to take into account the angle of incidence, the concentration of suspended particles, the temperature, the wave resistance of the medium when determining the parameters of the obstacle and the distance to it in order to increase the accuracy of the measurements. It is proposed to use: reflection coefficient, wave impedance, temperature of the environment. A dependence is proposed that takes into account the effect on the propagation of acoustic waves when determining the shape of the obstacle and its shape.