

Вплив властивостей повітряного середовища на вирішення прикладних завдань знімання мовної інформації на відкритій місцевості

The influence of air environment properties on the solution of applied problems of capturing speech information in the open terrain

Олена Азаренко * 1 A

*Corresponding author: ¹ д.ф.-м.н., професор, заступник керівника, e-mail: azarenko_ev@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2927-5545

Юлія Гончаренко ^{2 B}

к.т.н., доцент, професор кафедри, e-mail: vup@e-u.in.ua, ORCID: 0000-0003-2045-0263

Михайло Дівізійук ^{3 C}

д.ф.-м., професор, головний науковий співробітник, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

Володимир Мірненко ^{4 D}

д.т.н., професор, Заслужений працівник освіти України, директор, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7484-1035

Валерій Стрілець ^{5 A}

керівник, e-mail: v.strelec.brand@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1913-7878

Яцек Лукаш Вільк-Якубовський ^{6 F}

Dr of Technical Science, assistant professor (adjunct), Department of Information Systems, e-mail: j.wilk@tu.kielce.pl, ORCID: 0000-0003-1275-948X

Olena Azarenko * 1 A

*Corresponding author: ¹ Dr, Professor, Deputy Head, e-mail: e-mail: azarenko_ev@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2927-5545

Yulia Honcharenko ^{2 B}

Ph.D., Associate Professor, Professor of Department, e-mail: vup@e-u.in.ua, ORCID: 0000-0003-2045-0263

Mykhailo Divizinyuk ^{3 C}

Dr, Professor, Head of Department, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

Volodymyr Mirnenko ^{4 D}

Dr, Professor, Director of the Department, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7484-1035

Valeriy Strilets ^{5 A}

Head, e-mail: v.strelec.brand@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1913-7878

Jacek Lukasz Wilk-Jakubowski ^{6 F}

Dr of Technical Science, assistant professor (adjunct), Department of Information Systems, e-mail: j.wilk@tu.kielce.pl, ORCID: 0000-0003-1275-948X

^A Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр "БРАНД ТРЕЙД", м. Київ, Україна

^B Європейський університет, м. Київ, Україна

^C Інститут геохімії та навколишнього середовища НАН України, м. Київ, Україна

^D Департамент військової освіти та науки Міністерства оборони України, м. Київ, Україна

^F Технологічний університет Кельце, м. Кельце, Польща

^A Research laboratory-experimental center "BRAND TRADE", Kyiv, Ukraine

^B European University, Kyiv, Ukraine

^C Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^D Department of Military Education and Science of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^F Kielce University of Technology, Kielce, Poland

Received: April 2, 2022 | Revised: April 22, 2022 | Accepted: April 30, 2022

DOI: 10.33445/sds.2022.12.2.6

Мета роботи: на основі систематизації особливостей поширення акустичних хвиль залежно від різних станів повітряного середовища показано їх вплив на вирішення прикладних завдань знімання мовної інформації на відкритій місцевості, та запропоновано оперативний швидкий облік цих факторів у вирішенні прикладних завдань.

Дизайн/Метод/Підхід дослідження: при виконанні цієї роботи використовувалися методи аналізу властивостей хвильових процесів, методи опису акустичних полів, систематизації та узагальнення даних та знань, методи перетворення складних систем.

Результати дослідження: статті досліджено швидкості поширення звуку в атмосфері, що є головною акустичною характеристикою повітряного середовища, яка повністю залежить від параметрів цього середовища (атмосферний тиск, температура повітря, його вологість, а також наявність додаткових домішок). Вертикальний розподіл швидкості звуку в приземних шарах атмосфери повністю визначає поширення акустичних хвиль і їх викривлення – рефрактування. Розглянуто поняття фактора аномалії повітряного середовища та його обліку при вирішенні прикладних завдань знімання мовної інформації.

Purpose: based on the systematization of the characteristics of the propagation of acoustic waves depending on the different conditions of the air environment, their influence on the solution of applied problems of capturing speech information in the open area is shown, and the prompt rapid account of these factors in solving applied problems is proposed.

Design/Method/Approach: in performing this work, methods of analyzing the properties of wave processes, methods of describing acoustic fields, systematization and generalization of data and knowledge, methods of transforming complex systems were used.

Findings: the speed of sound propagation in the atmosphere, which is the primary acoustic characteristic of the air environment, entirely depends on the parameters of this environment (atmospheric pressure, air temperature, humidity, as well as the presence of additional impurities) is investigated. The vertical distribution of the speed of sound in the surface layers of the atmosphere ultimately determines the propagation of acoustic waves and their distortion - refraction. The concept of the factor of an anomaly of air environment and its account in the decision of applied problems of removing the speech information is considered.

Теоретична цінність дослідження: полягає в тому, що складні розрахунки фактора аномалії повітряного середовища для отримання очікуваної дальності виявлення акустичних сигналів може визначатися як добуток значення енергетичної дальності виявлення на значення коефіцієнта впливу середовища в приземних шарах атмосфери.

Тип статті: науково-практична.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, терористичного акту, акустична хвиля, повітряне середовище, аномалія, мікрофон.

Theoretical implications: is that the complex calculations of the factor of the anomaly of the air environment to obtain the expected range of detection of acoustic signals can be defined as the product of the value of the energy range of detection on the value of the coefficient of environmental influence in the surface atmosphere.

Papertype: scientific and practical.

Key words: emergency, terrorist act, acoustic wave, air, anomaly, microphone.

1. Вступ

Запобігання надзвичайним ситуаціям терористичного характеру на об'єктах критичної інфраструктури, що охороняються, пов'язана з виконанням повсякденних, демонстративних та негласних заходів, передбачених законодавчими актами України [1-2]. Одним з цих неформальних заходів є знімання мовної та акустичної інформації на відкритій місцевості. Отримана подібним чином інформація, після аналізу та систематизації, може бути використана для розкриття злочинних планів зловмисників та недопущення реалізації їх терористичних задумів [3, 4]. Технічні засоби, що забезпечують знімання акустичної та мовної інформації на відкритій місцевості, це спеціальні електронні прилади, які називаються спрямованими мікрофонами. В даний час їх поділяють на чотири види: параболічні, плоскі акустичні – фазовані решітки, трубчасті (мікрофони біжучої хвилі) і градієнтні [5, 6]. Дистанції отримання акустичної інформації спрямованими мікрофонами, що розпізнається (людської мови, яка розуміється) може досягати декількох кілометрів [7-9]. Однак, при використанні всіх видів спрямованих мікрофонів постійно виникають ситуації, обумовлені як поліпшенням якості прийому акустичних сигналів і збільшення дистанції знімання мовної інформації, так і навпаки, погіршенням якості прийому акустичних сигналів та зменшення дальності знімання мовної інформації [10-12]. Ці ситуації обумовлені змінами умов поширення звуку в приземних шарах атмосфери [13-16].

2. Постановка проблеми

Метою даної роботи є систематизація особливостей поширення акустичних хвиль залежно від різних станів повітряного середовища та їх вплив на вирішення прикладних завдань знімання мовної інформації на відкритій місцевості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання.

По-перше, розглянути процес поширення акустичних хвиль в суцільних середовищах.

По-друге, здійснити опис швидкості поширення звуку в атмосфері – головною акустичною характеристикою повітряного середовища.

По-третє, проаналізувати властивості рефракції акустичних хвиль в приземних шарах атмосфери.

По-четверте, розглянути поняття фактора аномалії повітряного середовища та його обліку при вирішенні прикладних завдань знімання мовної інформації.

3. Результати

3.1 Процес поширення акустичних хвиль в суцільних середовищах

У суцільних природних середовищах, до яких відноситься і водне середовище, і атмосфера, пружні і інерційні сили обумовлені, відповідно, пружною взаємодією часток середовища і інерцією їх маси. В таких середовищах з розподіленими параметрами можна порушити коливання стиснення і розрідження, що поширюються з певною швидкістю. У рідинах і газах,

що характеризуються лише об'ємної пружністю, можуть виникати поздовжні акустичні хвилі, в яких напрямок коливань частинок середовища збігається з напрямком поширення хвилі [15].

Для аналізу співвідношень, що зв'язують характеристики пружного середовища з характеристиками акустичних коливань, позначимо малий обсяг елемента пружного середовища, її щільність, а статичний тиск, які були в стаціонарному стані до порушення звукових коливань. Порушуючи коливання, прикладена зовнішня сила викликає зсув частинок середовища і змінює обсяг, щільність і тиск до значень V , ρ , P , тоді відносні зміни обсягу (об'ємна деформація) і щільності (ущільнення) дорівнюватимуть:

$$\Delta V = \frac{V-V_0}{V_0} = \frac{\delta V}{V_0}; \quad \Delta \rho = \frac{\rho-\rho_0}{\rho_0} = \frac{\delta \rho}{\rho_0}. \quad (1)$$

Ці величини можуть бути позитивними і негативними.

Для малих деформацій, коли $\Delta V \ll 1$ і $\Delta \rho \ll 1$, враховується закон збереження маси ($\rho V = \rho_0 V_0 = \text{const}$), і зі співвідношення (1) випливає, що:

$$\Delta \rho = -\Delta V \quad (2)$$

Тому при малих деформаціях ущільнення одно об'ємної деформації і протилежно йому по знаку. Зміна щільності елемента обсягу середовища призводить до зміни тиску. Воно буде складатися з початкового статичного тиску і надлишкового динамічного (акустичного тиску), тобто:

$$P = P_0 + P. \quad (3)$$

Зауважимо, що в задачах знімання акустичної інформації акустичний тиск набагато менше статичного [12]. У загальному випадку тиск в рідині або газі є функцією щільності і температури. В акустичних хвилях малої амплітуди ($\rho \ll P$) чергування стиснення і розрідження відбувається настільки швидко, що передача тепла між цими обсягами за період коливань не відбувається. Тому процес поширення звукової хвилі є адіабатичним. Тоді випадкове тиск, що є сумою статичного і акустичного тиску, в суцільному середовищі буде однозначною функцією щільності, тобто:

$$P = f(\rho). \quad (4)$$

Таким чином, акустична хвиля, що розповсюджується в суцільному середовищі, являє собою адіабатичний процес послідовної передачі стиснень і розрідження від однієї локальної частини середовища до іншої, що характеризується надмірною (акустичним) тиском, що є однозначною функцією щільності.

3.2 Швидкість поширення звуку в атмосфері – головна акустична характеристика повітряного середовища

З огляду на, що параметри акустичної хвилі є функцією щільності, розкладемо (4) в ряд Тейлора, тобто $P = P(\rho)$

$$P(\rho) = P(\rho_0 + \delta \rho) = P(\rho_0) + \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_{\rho=\rho_0} \cdot \delta \rho + \dots \quad (5)$$

Так як за умовою завдання розглядаються коливання з малими амплітудами, то $\delta \rho \ll \rho_0$. Це дозволяє провести лінеаризацію (5), відкинувши члени вищих порядків, і отримати:

$$P(\rho) = P_0 + \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{\rho=\rho_0} \cdot \delta\rho. \quad (6)$$

Тоді акустичний тиск, що створюється пружними коливаннями, набуде вигляду:

$$P = P - P_0 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{\rho=\rho_0} \cdot \delta\rho = C^2 \cdot \delta\rho \quad . \quad (7)$$

Величина C^2 представляє собою постійну, має розмірність $[м^2 \cdot с^{-2}]$ і являється квадратом швидкості розповсюдження продольних коливань. Зависимість (7) також можна представити в виде:

$$P = \chi \cdot S \quad (8)$$

де $\chi = \rho_0 \cdot C^2$ – пружність середовища, $S = \frac{\delta\rho}{\rho_0} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{V - V_0}{V_0}$ – акустичне стиснення.

Величина, зворотна пружності, характеризує стисливість середовища. Лінійну зв'язок між тиском і стисненням в (8) можна розглянути як закон Гука для об'ємного стиснення середовища з коефіцієнтом пружності, рівним $\rho_0 C^2$.

Для ідеального газу адіабатичні процеси стиснення визначаються рівнянням:

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma, \quad (9)$$

де γ – показник адіабатичності, який обчислюється відношенням значень теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному обсязі.

Диференціюючи (9) по ρ з урахуванням (7) і виконавши необхідні перетворення, отримаємо формулу для обчислення швидкості звуку в суцільному середовищі:

$$C = \sqrt{\gamma \frac{P_0}{\rho_0}}. \quad (10)$$

Беручи для стандартної атмосфери $P_0=10^5$ Па, $\rho_0=1,3 \frac{кг}{м^3}$, $\gamma=1,4$, отримуємо швидкість поширення звуку, рівну $C=330$ м/с.

Відомо, що стан ідеального газу також описується рівнянням:

$$\frac{P}{\rho_0} = \frac{RT}{M}, \quad (11)$$

де R – газова постійна, рівна ,314 Дж/(моль·К);

M – молярна маса;

T – температура, К.

З урахуванням (11) формула для визначення швидкості звуку в атмосфері набуде вигляду:

$$C = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} \quad (12)$$

Детальний розгляд (10) і (12) показує, що швидкість поширення звуку визначається параметрами суцільного середовища, в якій поширюються акустичні (пружні) коливання. Збільшення температури веде до зростання значень швидкості звуку, а її спадання – до зменшення. Наявність в атмосфері антропогенних домішок, парів та інших складових змінює її молярну масу і, отже, змінює значення швидкості звуку [10-14].

Таким чином, швидкість поширення звуку як акустична характеристика середовища повністю залежить від параметрів цього середовища. Для атмосфери це значення основних

гідрометеорологічних параметрів, а саме: атмосферний тиск, температура повітря, його вологість, а також наявність додаткових домішок.

3.3 Властивості рефракції акустичних хвиль в приземних шарах атмосфери

Один з методів опису звукового поля – метод променевої акустики [9-16]. Тут напрямок перпендикулярний фронту поширення звукової хвилі називають променем, а звукове поле представляють у вигляді променевої картини, вважаючи, що звукова енергія поширюється уздовж кожної променевої трубки. Це дає зворотний пропорційність між щільністю потоку енергії вздовж променю і площею поперечного перерізу трубки. Для гармонійних хвиль звуковий тиск, що характеризує поле можна записати у вигляді:

$$P = ae^{-i\omega t + i\frac{\omega}{c_0}\psi}, \quad (13)$$

де a – амплітуда коливань;

ω – частота коливань;

c_0 – швидкість звуку в початковій точці;

ψ – ейконал (хвильової потенціал, який пов'язаний з коефіцієнтом заломлення n співвідношенням $\nabla\psi = nT$, при цьому T – одиничний вектор, дотичний до променю).

Принцип Ферма стверджує, що хвиля завжди поширюється в просторі між двома точками і шлях, уздовж якого час проходження менше, ніж уздовж будь-якого з інших шляхів, що з'єднують ці точки, відповідає рівнянню траєкторії променю

$$\varkappa = \frac{1}{n} (\nabla n N), \quad (14)$$

де \varkappa – кривизна променю;

N – одиничної вектор головної нормалі.

Виходить, що в однорідних середовищах промені прямі, а в неоднорідних промені викривляються, рефрагують. З (14) випливає, що акустичні промені викривляються (повертаються) в сторону зменшення швидкості звуку. Ступінь цього викривлення (рефрагування) буде тим більше, чим вище значення градієнта швидкості звуку в середовищі.

Для України характерні переважно рівнинний характер території, континентальний клімат, який визначає регіональні особливості вертикального розподілу швидкості звуків (ВРШЗ) в приземних шарах атмосфери.

Перший варіант ВРШЗ, коли швидкість звуку з висотою не змінюється, залишається постійною. Подібне явище спостерігається в спокійну похмуру погоду для материкової України. В цьому випадку промені поширюються прямолінійно, і максимальна дальність акустичного виявлення визначається висотою джерела звуку і висотою приймача звуку як показано на рис. 1 а. Акустичний промінь, що стосується поверхні Землі, формує кордон між зонами акустичної освітленості, пронизаної променями, і зоною акустичної тіні.

Другий варіант ВШСЗ, коли швидкість звуку з висотою плавно зменшується. Такий розподіл швидкості звуку характерно для нижніх шарів атмосфери після полудня і в спекотні літні дні. В цьому випадку промені рефрагують вгору, істотно зменшуючи зону освітленості і збільшуючи зону акустичної тіні, як показано на рис. 1 б.

Третій варіант ВШСЗ, коли швидкість звуку з висотою плавно зростає. Для території України це характерно в ранкові години та вночі.

Подібний розподіл швидкості звуку призводить до рефрагування акустичних променів уздовж Земної поверхні і понад далекому поширенню звуку, як показано на рис. 1 в.

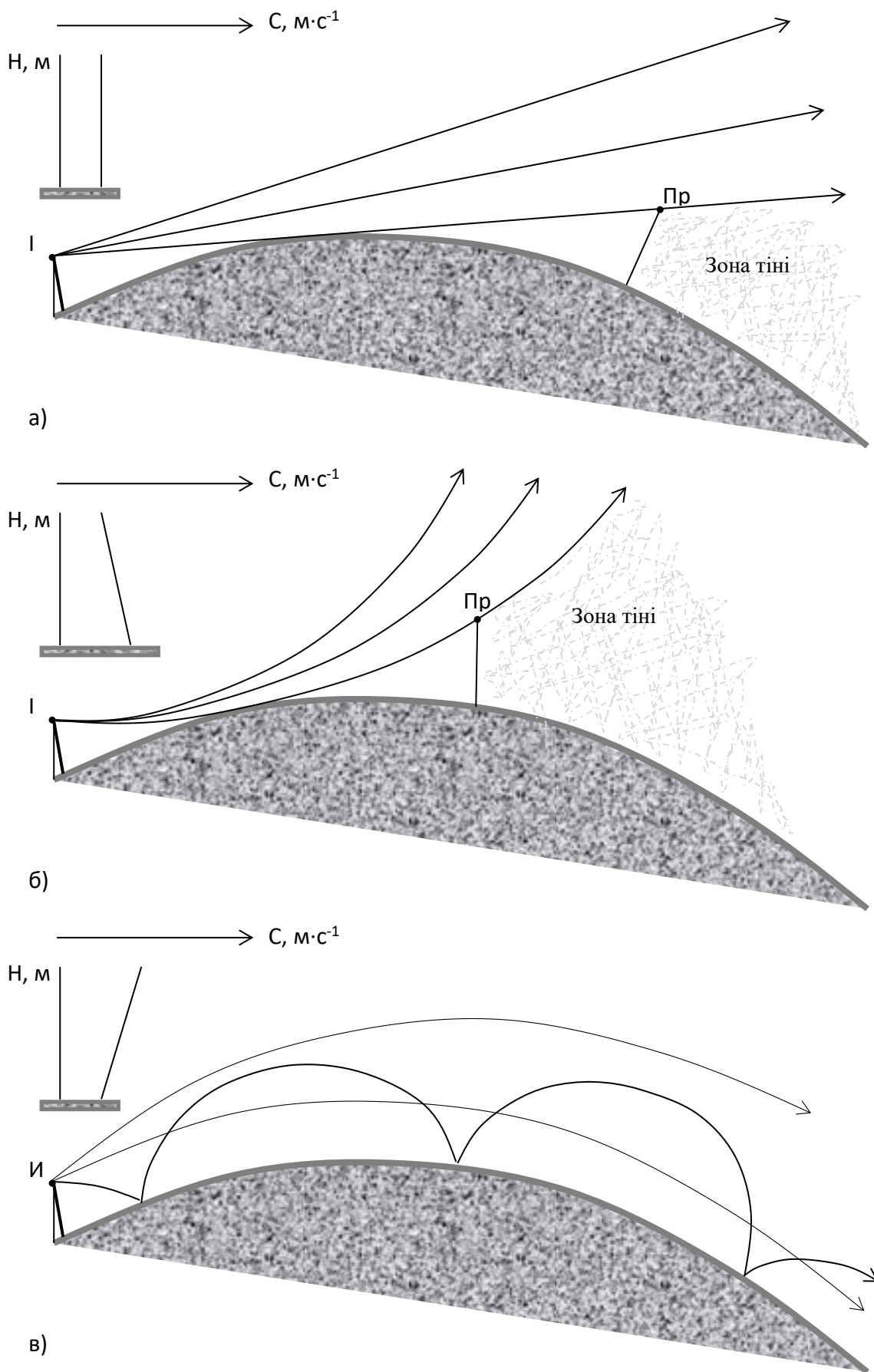


Рисунок 1 – Схема рефракції акустичних променів

Четвертий варіант ВРШЗ, коли швидкість звуку зменшується до певного мінімуму, а потім знову зростає. Подібне поширення швидкості звуку називають хвилевим. Воно характерно для районів річкових пройм, водойм і водосховищ, а так само передгір Карпат і Кримських гір. Висота, на якій розташовується мінімум швидкості звуку, є віссю хвилеводу.

Якщо джерело звуку буде знаходитися поблизу осі хвилеводу, то акустичні промені будуть рефрагувати в його межах, як показано на рис. 2, а і забезпечувати понад далеке поширення звуку.

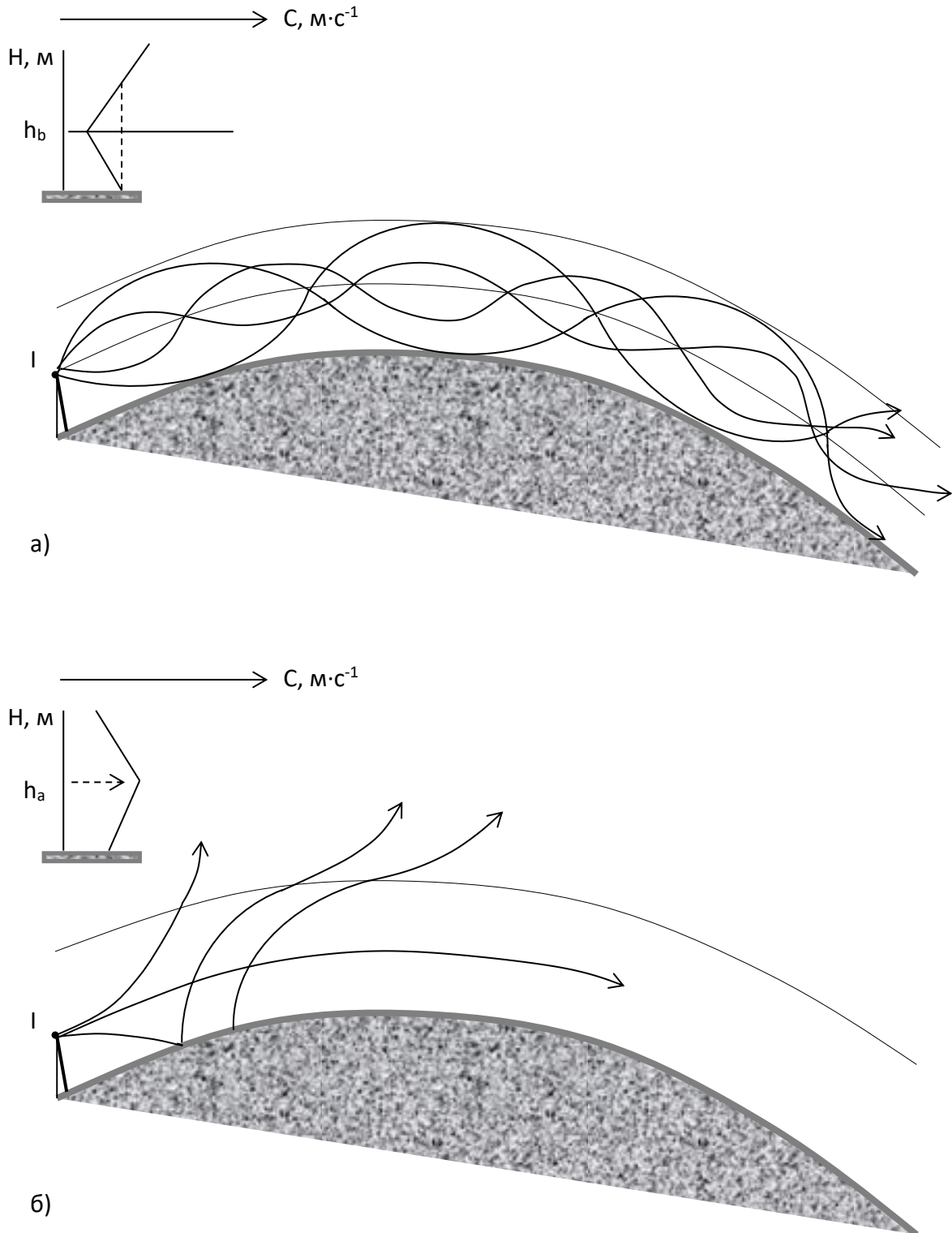


Рисунок 2 – Схема рефракції променів:
а – хвильове, б – антихвильове.

П'ятий варіант ВРШЗ, коли швидкість звуку з висотою зростає до певного максимуму, а потім зменшується. Такий розподіл швидкості звуку є антихвильовим, а висота швидкісного екстремуму є віссю антихвилі. Подібний розподіл швидкості звуку характерно для зимового періоду в рівнинних районах України. В цьому випадку, якщо джерело звуку розташовується нижче антихвильової осі, тоді частина акустичних променів будуть огинати земну поверхню і поширюватися за лінію горизонту. Інша частина променів, які перетнуть висоту антихвилі, будуть рефрагувати вгору, як показано на рис. 2 б.

Необхідно відзначити, що на наведених схемах ВРШЗ уздовж акустичних трас залишається постійним. Подібний розподіл швидкості звуку в приземних шарах атмосфери вважається наближеним і в літературних джерелах називається ідеальним. Безумовно, такі явища досить часто виявляються в нижніх шарах атмосфери, але частіше вертикальний розподіл швидкості звуку вздовж акустичних трас змінюється. Наприклад, хвильове розподілення швидкості звуку змінюється на рівномірний (варіант один). Далі воно змінюється на негативне (варіант два). Тут акустичні промені, що вийшли з джерела, будуть каналізувати уздовж осі хвилеводу, як показано на рис. 3.

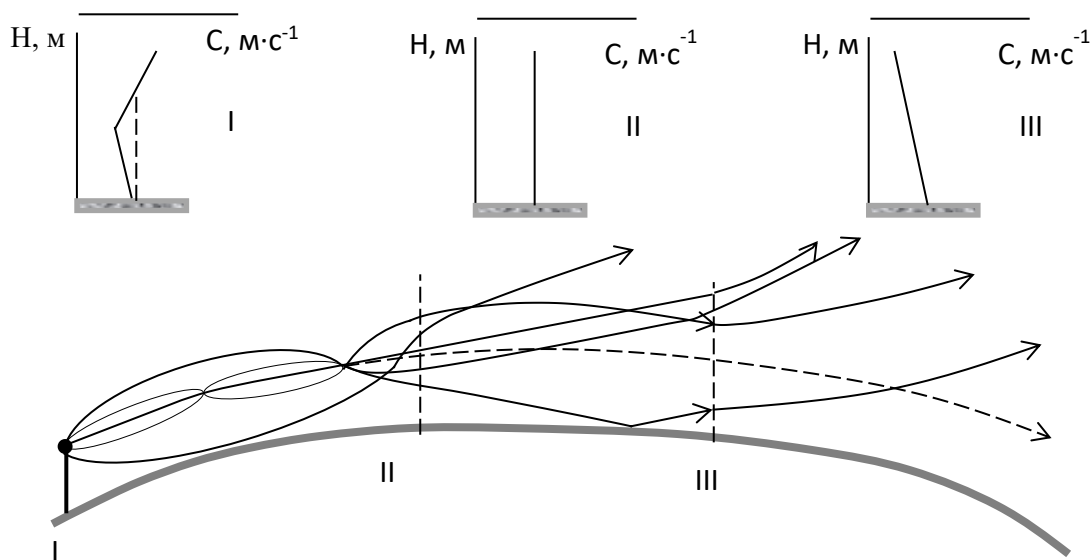


Рисунок 3 – Схема рефрагування променів при нерівномірних ВРШЗ уздовж акустичної траси (приклад 1)

Потім, коли вони увійдуть в область простору з рівномірним ВРШЗ, то їх траєкторії будуть прямолінійними. Частина з цих променів піде вгору, інша частина відіб'ється від Земної поверхні. Коли промені, що залишилися підійдуть до третього ділянці, то викривлення променів буде відбуватися вгору і вони всі підуть у верхні шари атмосфери. В цьому випадку побудова зон акустичної освітленості і тіні буде більш складна.

Інший приклад. Хвильове розподілення швидкості звуку змінюється на рівномірний. Потім рівномірний розподіл швидкості звуку змінюється на антихвильовий, як показано на рис. 4.

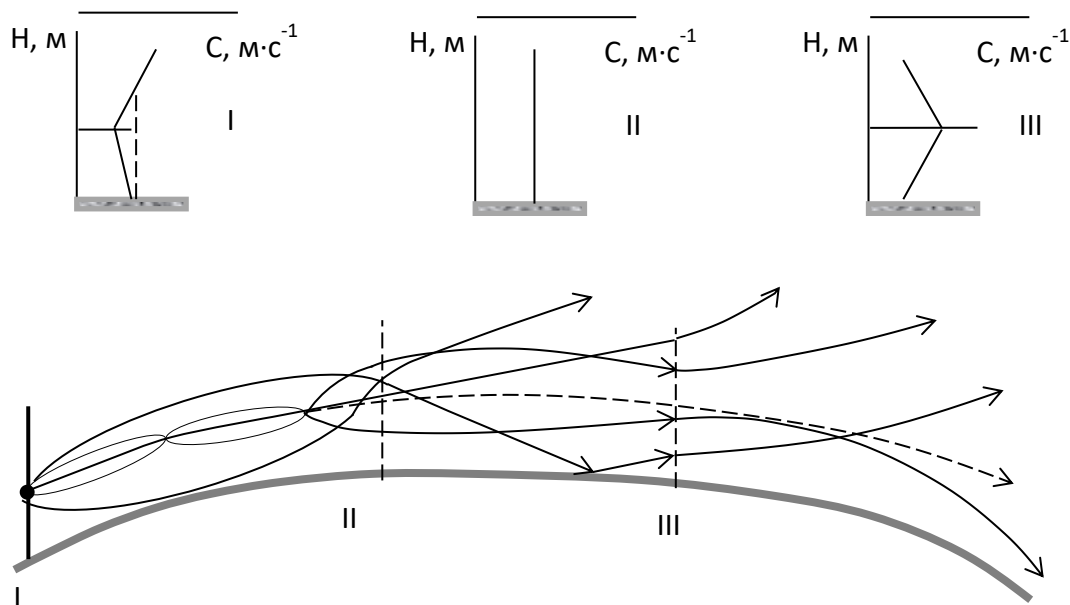


Рисунок 4 – Схема рефрагування променів при нерівномірних ВРСЗ уздовж акустичної траси (приклад 2)

У цьому випадку, як і в першому прикладі, відбувається спочатку каналізація променів, потім їх прямолінійне поширення. На третій ділянці промені, що потрапили в шари вище антихвильової осі, підуть вгору. Промені, що залишилися нижче антихвильової осі, поширяться огинаючи земну поверхню.

У другому прикладі, так само як і першому, наявність даних про ВРСЗ уздовж акустичної траси дозволяє з використанням методів променевої теорії виробляти побудову конфігурації акустичного поля, визначати зони акустичної освітленості і тіні.

Іншими словами, регіональні особливості України визначають існування в приземних шарах атмосфери п'яти основних варіантів вертикального розподілу швидкості звуку, а саме: рівномірний, плавно-убуваючий, плавно-зростаючий, хвильовий і антихвильовий. Знаючи розподіл швидкості звуку і кути виходу акустичних променів з джерела можна побудувати конфігурацію акустичного поля і визначити знаходження зон акустичної освітленості і тіні.

Таким чином, вертикальний розподіл швидкості звуку в приземних шарах атмосфери повністю визначає поширення акустичних хвиль і їх викривлення – рефрагування в просторі.

3.4 Поняття фактора аномалії повітряного середовища та його обліку при вирішенні прикладних завдань знімання мовної інформації

Для вирішення прикладних завдань на етапі їх планування необхідно знати значення розрахункової чи очікуваної дальності прийому акустичних сигналів. У методиках вітчизняних [8, 11, 13] та зарубіжних [4-6, 7, 10, 14] фахівців, як правило, робляться припущення, що на даний період часу всі параметри, що визначають стан фізичної системи постійні і беруться тільки два, один з яких є аргументом, а інший – відповідна функція. Фактор середовища в цьому випадку не враховується. Середовище вважається безмежної і однорідною, в якій загасання звуку відбувається на постійну величину, значення якої визначається центральною частотою приймального пристрою.

Сукупність технічних факторів приймального пристрою вважатимемо постійними величинами. Перешкоди, які визначаються власними шумами, також вважатимемо постійними. Значення рівня шумів в смузі прийому для кожної акустичної мети індивідуально. Відповідно, чим

вище рівень шумів, тим більше дальність виявлення. Це описує вираз (15), якій прийнято називати нестрогим нерівністю дальності дії (енергетичної дальністю дії) акустичного засоби виявлення.

$$20 \cdot \lg D + \alpha_{\text{Дкм}} + K \leq (10 \cdot \lg \delta + 20 \cdot \lg P_{\text{п}} - 10 \cdot \lg J_{\text{пр}} - 20 \cdot \lg P_{\text{с}}), \quad (15)$$

де D – найбільше значення дистанції, при якому досягається рівність обох частин;

α – величина загасання звуку;

$K = 10 \lg 4\pi \approx 10,98$ дБ.

δ – коефіцієнт розпізнавання приймального пристрою;

$J_{\text{пр}}$ – коефіцієнт спрямованої дії спрямованого мікрофона;

$P_{\text{с}}$ – інтенсивність акустичного випромінювання мети в смузі частот приймального акустичного пристрою;

$P_{\text{п}}$ – рівень місцевого акустичного фону в смузі приймального пристрою.

Приземні шари атмосфери, як і все повітряне середовище, ніколи не буває безмежним (завжди є підстилаюча земна поверхня) і однорідною. Розподіл основних фізичних параметрів температури, густини, атмосферного тиску і похідною від них швидкості поширення звуку не буває в реальному середовищі однорідним. Воно або зростає, або зменшується з висотою, що призводить до позитивної (рефракції – викривлення акустичних променів уздовж земної поверхні) або негативної (викривлення променів вгору) рефракції, як було розглянуто раніше.

У цьому випадку, коли середовище ніяк не впливає на поширення звуку в приземних шарах, дальність виявлення буде визначатися енергетичною дальністю дії акустичних засобів. Прийнято говорити, що в цьому випадку коефіцієнт впливу середовища дорівнює одиниці.

При негативній рефракції, коли швидкість звуку зменшується з висотою, промені рефрагують вгору дальність акустичного виявлення зменшується. Коефіцієнт впливу середовища в цьому випадку буде менше одиниці. Іншими словами фактична дальність виявлення буде менше енергетичної. Ситуація розвивається по-іншому при позитивній рефракції, коли швидкість звуку зростає з висотою, і промені рефрагують вниз, огинають земну поверхню. Тоді фактична дальність виявлення збільшується. Тут коефіцієнт впливу середовища буде більше одиниці.

Тобто очікувана дальність виявлення визначатиметься, як добуток енергетичної дальності виявлення на коефіцієнт впливу середовища. Безумовно, це справедливо для умов, наближених до ідеальних. Розглядаючи більш складні картини акустичних полів, які визначаються відповідними ВРШЗ, доводиться говорити про фокусування акустичної енергії в приземних шарах атмосфери, по аналогії з акустичними полями у водному середовищі. Тоді коефіцієнт впливу середовища буде у окремих випадках прояву фактора фокусування акустичної енергії в приземних шарах атмосфери. Строго кажучи, фактор фокусування – це функціонал, який залежить від конфігурації акустичного поля, визначених ВРШЗ, висотою джерела, шириною діаграми спрямованості його випромінювання, висотою (горизонтом) розташування приймача, конфігурації акустичних променів в місцевості, де вирішується прикладне завдання. Фактор фокусування показує у скільки разів інтенсивність акустичного поля в даній точці простору (що поширюється в реальному середовищі) буде більше або менше в порівнянні з інтенсивністю акустичного поля, що поширюється в однорідному, безмежному середовищі в цій же точці простору. Фактор фокусування акустичного поля у відповідність з методами променевої теорії розраховується як дискретно змінювана функція у відповідність з покроковим дискретною зміною дистанції (відстані від джерела звуку).

Приклад розрахунку значень фактора фокусування представлений на рис. 5., розрахований для висот h_1 і h_2 вище і нижче джерела звуку.

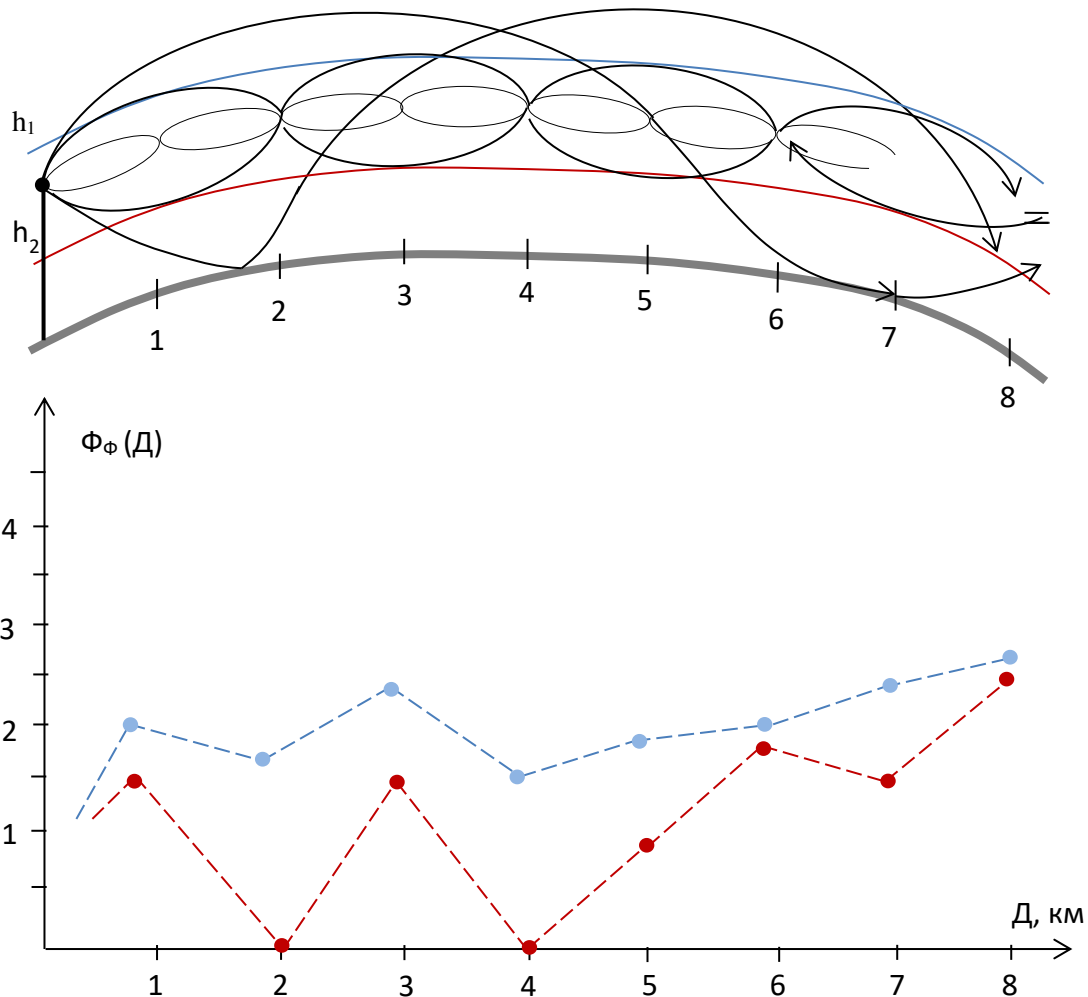


Рисунок 5 – Конфігурація акустичного поля і графік відповідного йому фактора фокусування для висот h_1 (вище джерела звуку) і h_2 (нижче джерела звуку)

На відстані 2 і 4 км від джерела звуку на висоті h_2 жоден промінь не проходить через точку прийому, внаслідок чого значення фактора фокусування дорівнює нулю. Отримуємо, що геометрична дальність дії визначається як добуток енергетичної дальності на значення фактора фокусування в даній точці простору. Для умов, наближеним до ідеальних, фактор фокусування проявляється як коефіцієнт впливу середовища. Фактична, тобто реально отримується дальність прийому акустичних сигналів буде визначатися дією трьох груп чинників, а саме технічних параметрів приймача сигналів (спрямованого магнітофона), акустичних параметрів джерела звуку і впливу середовища – прийомних шарів атмосфери. Спрощуючи це завдання, параметри всіх трьох груп залишаються незмінними в часі, тобто протягом знімання мовної інформації жоден з параметрів не змінюється. Крім цього у відповідність з методами променевої акустики маємо джерело і приймач звуку, так як випромінювання від джерела йде в усіх напрямках, а акустичний прийом сигналів спрямований, обмеженими граничними акустичними променями, які формуються характеристикою спрямованості.

Але фактори середовища між джерелом і приймачем, що не змінюються в часі, можуть змінюватися по дистанції уздовж акустичної траси і відповідним чином діяти на прийом акустичних сигналів. Проблема полягає в тому, що контролювати або знати про зміну стану середовища сама по собі досить трудомістке завдання. Тому акустиками було запропоновано

сукупність факторів (в тому числі і фактор фокусування), викликаних постійно змінюється в часі і просторі параметрами середовища відносити до фактору аномалії середовища. Процес визначення аномалії середовища сама по суті є одним з напрямків пізнання навколишнього нас світу, то є достатньо об'ємною проблемою досліджень. Однак, на практиці вплив фактора аномалії середовища може враховуватися за допомогою коефіцієнта впливу середовища, як окремого випадку.

Таким чином, очікувана дальність виявлення акустичних сигналів з урахуванням фактора аномалії повітряного середовища може визначатися як добуток значення енергетичної дальності виявлення на значення коефіцієнта впливу середовища в приземних шарах атмосфери.

4. Висновки

1. Акустична хвиля, що розповсюджується в суцільному середовищі, являє собою адіабатичний процес послідовної передачі стиснень і розрідження від однієї локальної частини середовища до іншої, що характеризується надмірною (акустичним) тиском, що є однозначною функцією щільності.

2. Швидкість поширення звуку як акустична характеристика середовища повністю залежить від параметрів цього середовища. Для атмосфери це значення основних гідрометеорологічних параметрів, а саме: атмосферний тиск, температура повітря, його вологість, а також наявність додаткових домішок.

3. Вертикальний розподіл швидкості звуку в приземних шарах атмосфери повністю визначає поширення акустичних хвиль і їх викривлення – рефрагування акустичної хвилі, що розповсюджується в суцільному середовищі, являє собою адіабатичний процес послідовної передачі стиснень і розрідження від однієї локальної частини середовища до іншої, що характеризується надмірним (акустичним) тиском, що є однозначно функцією щільності в просторі. Для України характерні п'ять основних варіантів вертикального розподілу швидкості звуку, а саме: рівномірний, плавно-убуваючий, плавно-зростаючий, хвильовий і антихвильовий.

4. Очікувана дальність виявлення акустичних сигналів з урахуванням фактора аномалії повітряного середовища може визначатися як добуток значення енергетичної дальності виявлення на значення коефіцієнта впливу середовища в приземних шарах атмосфери.

5. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

6. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Про оперативно-розшукову діяльність: Закон України від 18 лютого 1992 року № 2135-XII. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2135-12#Text>
2. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання: Закон України від 19

References

1. On operational and investigative activities: Law of Ukraine of February 18, 1992 № 2135-XII. Available from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2135-12#Text>
2. On physical protection of nuclear installations, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation: Law of Ukraine of October 19, 2000 № 2064-III. Available

- жовтня 2000 року № 2064-III. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14>
3. Азаренко Е. В. Защита критической инфраструктуры государства от террористического воздействия / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, М.И. Ожиганова // К.: ИГНС НАНУ, 2018. 84 с. (ISBN 978-617-7187-25-6).
 4. Оперативная звукозапись / Пер. с англ. под ред. М. А. Феликса. – М.: Интерпол, 2005. 456 с.
 5. Xovard B. (1991). Lazeracustic. *Optronics. Sincepress*. vol. 10. №10. p. 89-100.
 6. Wilk-Jakubowski, J. (2021). A review on information systems engineering using vsat networks and their development directions. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 31(3), P. 409–428. DOI : 10.2298/YJOR200215015W
 7. Stawczyk, P., Wilk-Jakubowski, J. (2021). Non-invasive attempts to extinguish flames with the use of high-power acoustic extinguisher. *Open Engineering*, 11(1), P. 349–355. DOI : 10.1515/eng-2021-0037
 8. Гончаренко Ю. Ю. Оценка дальности акустической регистрации речевой информации с открытых площадок / Ю.Ю. Гончаренко // Научно-технічний журнал "Сучасний захист інформації". – Київ: ДУІКТ, 2011. – №4. – С. 73 – 77.
 9. Азаренко Е.В. Устройство для обнаружения шума, сопровождающего природные и техногенные катастрофы / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, О.В. Матузаева и др. // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – Вип. 4 (40). – С. 75 – 80.
 10. Wilk-Jakubowski, J.Ł. (2021). Analysis of flame suppression capabilities using low-frequency acoustic waves and frequency sweeping techniques. *Symmetry*, 13(7), 1299. DOI : 10.3390/sym13071299
 11. Гончаренко Ю.Ю. Про проблему розрахунку дальності прийому акустичної інформації з відкритих майданчиків / Ю. Ю. Гончаренко, Д. Г. Гончаренко, М. М. Дивизинюк // Научно-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14>
 3. Azarenko, E.V., Goncharenko, Yu.Yu., Divizinyuk, M.M., Ozhiganova M.I. Protection of critical infrastructure of the state from terrorist influence. Kyiv: IGNS NASU, 2018. 84 p. (ISBN 978-617-7187-25-6).
 4. Operational sound recording / Per. with English under ed. M. A. Felix. Moscow: Interpol, 2005. 456 p.
 5. Xovard B. (1991). Lazeracustic. *Optronics. Sincepress*. vol. 10. №10. p. 89-100.
 6. Wilk-Jakubowski, J. (2021). A review on information systems engineering using vsat networks and their development directions. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 31(3), P. 409–428. DOI : 10.2298/YJOR200215015W
 7. Stawczyk, P., Wilk-Jakubowski, J. (2021). Non-invasive attempts to extinguish flames with the use of high-power acoustic extinguisher. *Open Engineering*, 11(1), P. 349–355. DOI : 10.1515/eng-2021-0037
 8. Goncharenko Yu.Yu. Estimation of the range of acoustic registration of speech information from open areas. *Scientific and Technical Journal "Modern Information Protection"*. Kyiv: DUICT, 2011. №4. P. 73-77.
 9. Azarenko E.V., Goncharenko Yu.Yu. Matuzaeva O.V. et al. Device for noise detection, accompanying natural and man-made disasters. *Collection of scientific works SNUYAEtaP*. – Sevastopol: SNUYAEtaP, 2011. Vol. 4 (40). P. 75-80.
 10. Wilk-Jakubowski, J.Ł. (2021). Analysis of flame suppression capabilities using low-frequency acoustic waves and frequency sweeping techniques. *Symmetry*, 13(7), 1299. DOI : 10.3390/sym13071299
 11. Goncharenko Yu.Yu., Goncharenko D. G., Divizyniuk M.M. (2012). On the problem of calculating the range of acoustic information from open areas. *Scientific and technical collection "Legal, regulatory and metrological support of the information protection system in Ukraine"*. Kyiv: State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine NTUU "KPI", Issue. 1 (23). P. 29-35.

- в Україні». – Київ: Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України НТУУ «КПІ», 2012. – Вип. 1 (23). – С. 29 – 35.
12. Vovchuk, T.S., Wilk-Jakubowski, J.L., Telelim, V.M., Shevchenko, O.S., Tregub, N.S. (2021). Investigation of the use of the acoustic effect in extinguishing fires of oil and petroleum products. *SOCAR Proceedings*, Special Issue No.2 (2021), P. 24-31. URL: <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200602>
13. Азаренко Е.В. Анализ экспериментов по определению дальности съема речевой информации / Е.В. Азаренко, О.В. Бас, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, М.И. Ожиганова, А.С. Рыжкин // Наукowo-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні». – Київ: Державна служба спеціального звуку та захисту інформації в Україні НТУУ «КПІ», 2019. – Вип. 1 (37). – С. 89 – 97.
14. Госсард Е. Волны в атмосфере / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 520 с.
15. Гринченко В.Т. Основы акустики / В.Т. Гринченко, И.В. Вовк, В.Т. Маципура. – К.: Наукова думка, 2007. – 640 с.
16. Гончаренко Ю.Ю. Физическая модель съема речевой информации / Ю.Ю. Гончаренко // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – Вип. 7 (123). – С. 18 – 23.
12. Vovchuk, T.S., Wilk-Jakubowski, J.L., Telelim, V.M., Shevchenko, O.S., Tregub, N.S. (2021). Investigation of the use of the acoustic effect in extinguishing fires of oil and petroleum products. *SOCAR Proceedings*, Special Issue No.2 (2021), P. 24-31. URL: <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200602>
13. Azarenko E.V., Goncharenko Yu.Yu., Divizinyuk, M.M., Ozhiganova, M. I., Ryzhkin A. C. (2019). Analysis of experiments to determine the range of speech information. *Scientific and technical collection "Legal, regulatory and metrological support of information protection systems in Ukraine"*. Kyiv: State Service for Special Sound and Information Protection in Ukraine NTUU "KPI", Issue. 1 (37). P. 89-97.
14. Gossard E. Waves in the atmosphere / Per. with English – Moscow: Mir, 1978. 520 p.
15. Grinchenko V.T., Vovk I.V., Matzipura V.T. Fundamentals of acoustics. – Kyiv: Naukova Dumka, 2007. 640 p.
16. Goncharenko Yu.Yu. Physical model of speech information collection. *Collection of scientific works "Information processing systems"*. Kharkiv: Ivan Kozhedub Kharkiv University of the Air Force, 2014. Issue. 7 (123). P. 18-23.