

Нині в Україні постала необхідність захисту інтересів своїх громадян в інформаційній сфері, тому законодавчий апарат чекає велика законотворча робота в галузі опрацювання численних міжнародних актів і договорів, які стосуються регулювання власного сегмента всесвітнього віртуального простору (мережі Інтернет). Це зумовлює необхідність законодавчого забезпечення регулювання відносини у глобальній інформаційній мережі задля створення правової демократичної держави.

*Література* 1. Котерлін І. Тлумачення поняття захисту інформації як правової категорії / Ірина Котерлін// Юрид. Україна, 2009, – № 4, – С. 34 – 35 2. Пазюк А. В. Міжнародно-правовий захист права людини на приватність персоніфікованої інформації: Дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.11. – К., 2004. – 205 с. 3. Конституція України, прийнята Верховною Радою України 28 червня 1996 року. – К.: Ін Юре, 1996. – 55 с. 4. Законодавство України [електронний ресурс] Закон України «Про інформацію» – Режим доступу до документа: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2657-12> 5. Законодавство України [електронний ресурс] Закон України «Про захист персональних даних». – Режим доступу до документа: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2297-17> 6. Право и Интернет. Теоретические проблемы / И. М. Рассолов. – 2е изд., доп. – М.: Норма, 2009. – 384 с.

УДК 534.873:88

## О ПРОБЛЕМЕ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ ПРИЕМА АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ОТКРЫТЫХ ПЛОЩАДОК

Михаил Дивизинюк, Юлія Гончаренко, Дмитрій Гончаренко

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

*Анотація:* Розглянуті основні підходи до проблеми розрахунку дальності акустичних засобів, що забезпечують прийом акустичних сигналів з відкритих площадок.

*Summary:* We consider the main approaches to the problem of calculating the range of acoustic means to ensure reception of acoustic signals from the open areas.

*Ключевые слова:* Акустические средства, акустическая информация, дальность действия, стратифицированная атмосфера, открытая площадка.

### I Введение

Решение вопросов защиты акустической информации, генерируемой человеческими голосами на открытых площадках (теннисных кортах, гольфовых полях, входах в здания, на балконах, мансардах, верандах и т. д.), решается методом классической обратной теоремы [1], когда получаемый результат является условием решения задачи, а её условие – целью. Применительно к защите речевой информации возникает проблема расчета дальности приема акустических сигналов определенной интенсивности в округленной полосе частот средствами приема заданной направленности в конкретных гидрометеорологических условиях [2]. Практическое решение таких задач связано с многочисленными трудностями [3], которыми оказываются изменение условий распространения и затухания звуковых волн в атмосфере, воздействие изменяющейся интенсивности регионального акустического фона и др. В результате расхождения аналитических расчетов с фактической дальностью регистрации акустической информации составляют разы, а в некоторых ситуациях и десятки раз [4].

Подобное расхождение результатов требует детального исследования рассматриваемого вопроса, который, безусловно, является актуальной научной и практической задачей.

### II Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является рассмотрение основных подходов к проблеме расчета дальности действия акустических средств в приземных слоях атмосферы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать условия решения задачи расчета энергетической дальности действия. Во-вторых, рассмотреть геометрическую дальность действия как результат действия фокусирующих свойств атмосферы. В-третьих, определить ожидаемую дальность действия как дальность достоверного обнаружения. В-четвертых, произвести систематизацию факторов, влияющих на дальность действия акустических средств.

### III Расчет энергетической дальности обнаружения акустического сигнала

Регистрация акустического сигнала приемным устройством производится в том случае, когда интенсивность полезного сигнала  $I_c$  в  $\delta$ -раз превышает интенсивность помехи  $I_n$ , действующей на вход этого же приемника, то есть

$$I_c \geq \delta I_n \text{ или } P_c^2 \geq \delta P_n^2, \quad (1)$$

где  $\delta$  – коэффициент распознавания акустоэлектронного приемного устройства, определяемый как минимальное отношение интенсивности сигнала и помехи на входе, позволяющее регистрировать полезный сигнал с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги, а  $P_c$  и  $P_n$  – значения акустического давления, создаваемого полезным сигналом (разговорной речью) и помехой, определяемой, главным образом, местным акустическим фоном.

Если расстояние, на которое распространяется звук, гораздо больше, чем размер его источника, то источник звука считается точечным, а распространение акустических волн происходит по сферическому закону, то есть фронт волны расширяется как поверхность сферы, а интенсивность звука убывает пропорционально квадрату расстояния.

Кроме этого, вследствие релаксационных процессов, наблюдающихся в атмосфере, происходит затухание звука на величину  $\alpha$ , конкретное значение которой зависит от частоты акустических волн и некоторых физических параметров приземных слоев атмосферы.

Интенсивность распространяющегося акустического сигнала может быть увеличена на величину  $j_u$ , определяемую направленным действием источника, например, разговор у стенки (здания). Здесь звук будет распространяться в полусфере, при этом коэффициент концентрации источника звука  $j_u = 2$ . Если же разговор происходит у двух стен, размещенных ортогонально (под углом  $90^\circ$ ) друг к другу, то распространение звука будет происходить в четверть сферы и, соответственно, значение  $j_u = 4$ . Аналогичным образом уменьшается воздействие помехи за счет направленного действия микрофона, которое определяется коэффициентом его концентрации  $j_{np}$ .

С учетом всего вышеизложенного выражение (1) примет вид:

$$\frac{P_c^2 \cdot j_n}{4\pi \cdot D^2} \cdot 10^{-0,1\alpha \cdot D} \geq \delta \frac{P_n^2}{j_{np}}, \quad (2)$$

а в децибельной форме

$$-(20\lg(\frac{D}{D_0}) + \alpha D + 10\lg 4\pi) \geq 10\lg \delta + 20\lg(\frac{P_n}{P_o}) - 20\lg(\frac{P_c}{P_o}) - 10\lg j_n - 10\lg j_{np}. \quad (3)$$

Здесь  $D_0$  – нулевой уровень дистанции равный одному метру, а  $P_o$  – порог слышимости человеческого уха, равный  $2 \cdot 10^{-5}$  Па. Поскольку эти значения являются стандартными для акустики, в последующих записях их употреблять не будем.

Левая часть выражения  $-(20\lg D + \alpha D + 11 \text{ дБ})$  представляет собой закономерность спада акустического поля в стандартной (однородной и безграничной) атмосфере. Правую часть выражения (3) принято называть энергетическим потенциалом приемного устройства (с коэффициентом направленного действия акустической системы  $j_{np}$ ) по определенной цели (с приведенным значением шумности к полосе приемного устройства  $P_c$ ) в конкретной помеховой обстановке (уровень местного акустического фона в полосе приемного устройства  $P_n$ ). Наибольшее значение дистанции  $D$ , при котором достигается равенство обеих частей, является наибольшей дальностью обнаружения акустического сигнала.

Нормальные условия восприятия человеческой речи достигаются при двукратном увеличении полезного сигнала, то есть коэффициент распознавания будем считать равным двум (или 6 дБ). Акустический фон в диапазоне от 0,1 до 10 кГц, охватывающий практически весь звуковой диапазон, выберем в четырех вариантах. Первый – уровень шумов колеблется в районе порога слышимости (спокойный ночной город) – 0 дБ. Второй – уровень шумов определяется ветром, шелестом деревьев, слабыми осадками (ночной город во

время дождя) – 10 дБ. Третий вариант – между источником звука и приемным устройством проходит автомобиль – 20 – 30 дБ. Четвертый вариант – в непосредственной близости с приемником и источником звука проходит железнодорожный состав, и уровень помех достигает 60 дБ.

Источник звука – это человеческая речь. Приведенные значения шумности человеческого голоса к расстоянию 1 м в полосе 0,1 – 10 кГц имеют следующие значения относительно порога слышимости ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па). Спокойный разговор, переходящий на шепот – 20 дБ (осредненное значение). Достаточно громкий разговор, который может быть у собеседников в приподнятом настроении – 40 дБ. Крик (буйное выяснение отношений, спор) – 60 дБ.

Для учета направленного действия источника звука будем считать, что разговор происходит на балконе высотного дома, то есть акустическая энергия распространяется в одной полусфере,  $j_u = 2$  или 6 дБ.

Специальные приспособления для микрофонов способны на центральной частоте диапазона 0,1 – 10 Гц, определяемой как среднее геометрическое нижней и верхней частот диапазона, равной 1 кГц, формировать узкую характеристику направленности, ширина которой не более  $5^\circ$  по вертикали и  $5^\circ$  по горизонтали. Коэффициент осевой концентрации данного акустического приемника будет не менее 34 дБ. Принимая значение коэффициента затухания для нормальной атмосферы на частоте 1 кГц равным 12,5 дБ/км, получим следующие результаты.

В тихом ночном городе шепот на балконе может фиксироваться на расстоянии 150 м, спокойный громкий разговор – до 600 м, а эмоциональный – на расстоянии более 1,5 км. Звук осадков способствует уменьшению дальности фиксации шепота до 90 м, громкого разговора до 500 м, а эмоционального до 1300 м. При наличии автомашин между источником и приемником звук шепота не будет фиксироваться, громкий разговор будет записываться на расстоянии 150 м, а эмоциональный на удалении до 600 м. В случае, когда помехи создаются движением железнодорожного состава, можно будет зафиксировать только эмоциональный разговор на расстоянии не более 90 м. Необходимо заметить, что подобная помеховая обстановка является пульсирующей, то нарастает, то убывает, и, соответственно, с ней будет изменяться дальность фиксации речевой информации.

Таким образом, энергетической дальностью обнаружения акустического сигнала является расстояние, при котором достигается равенство интенсивности акустического поля в стандартной атмосфере и энергетического потенциала определенного приемного устройства по конкретной акустической цели в заданной помеховой обстановке. Она может составлять от десятков метров до единиц километров.

#### IV Геометрическая дальность обнаружения акустических волн

Распространяясь в атмосфере, акустические волны встречают на своем пути различные препятствия или падают на границы сред воздух-грунт (земля), воздух-асфальт, воздух-вода и т. д.

Если плоская звуковая волна падает на плоскую границу двух однородных сред под углом  $\alpha$ , то часть звуковой энергии отразится от границ, а часть перейдет во вторую среду. В силу симметрии отраженная и прошедшая волны будут плоскими. Если обозначить скорость распространения звука в первой среде (воздухе)  $c_1$ , второй среде (воде) –  $c_2$ , а плотности сред соответственно  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , значение коэффициента отражения будет определяться как

$$K_{\text{отр}} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}. \quad (4)$$

Коэффициент преломления  $n$  определяется в виде отношения скоростей в средах или отношение синусов угла падения и угла преломления, т. е.

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_{\text{пр}}}. \quad (5)$$

Поскольку скорость распространения звука в воде или грунте гораздо больше скорости распространения звука в воздухе, то при определенном критическом значении угла падения звуковой волны ( $\sin \alpha_{\text{кр}} = 1$ ) падающая волна не будет проникать во вторую среду и полностью отразится от ее поверхности.

В действительности граница двух сред никогда не бывает ровной и плоской. На поверхности воды всегда имеются волны различной высоты, а поверхность Земли покрыта травой, кустарником, деревьями, имеет холмы, овраги и т. д., поэтому идеального зеркального отражения не бывает. В зеркальном направлении (по правилу: угол падения равен углу отражения) отражается большая часть акустической энергии, но не вся. Оставшаяся ее часть отражается в других направлениях. Этот процесс принято называть рассеиванием

акустической энергии, и оно тем интенсивнее, чем больше неровностей на границе раздела двух сред. В соответствии с законом сохранения энергии сумма коэффициентов отражения  $K_{отр}$ , преломления  $n$  и рассеивания  $K_{рас}$  равна единице.

Скорость звука в атмосфере изменяется с высотой. В приземных слоях это обуславливается главным образом за счет изменения термической составляющей. Подобное строение воздушной среды является стратификационным. В свою очередь, стратифицированная атмосфера при распространении акустических волн вызывает их рефракцию – искривление. Направление, перпендикулярное фронту распространения акустической волны, принято называть акустическим лучом, который в стратифицированной (неоднородной) среде искривляется по закону Снелиуса, рефрагирует в сторону с наименьшими значениями скорости звука.

Если температура и, соответственно, скорость звука не изменяются с высотой, то акустические лучи распространяются прямолинейно, и зона акустической освещенности будет определяться наибольшей высотой источника звука (ИЗ) и высотой расположения акустического приемника АП<sub>р</sub>, за которым будет располагаться зона акустической тени. В случае инверсии (рис. 1), когда температура воздуха и скорость звука с высотой возрастают, акустические лучи, направляясь в сторону Земли, огибают ее, глубоко проникая в зону тени, формируемую при прямолинейном распространении лучей. Если же наблюдается конвекция (рис. 2), когда температура и скорость звука с высотой убывают, то лучи искривляются вверх. Образованная при этом зона тени будет гораздо больше, чем при прямолинейном распространении.

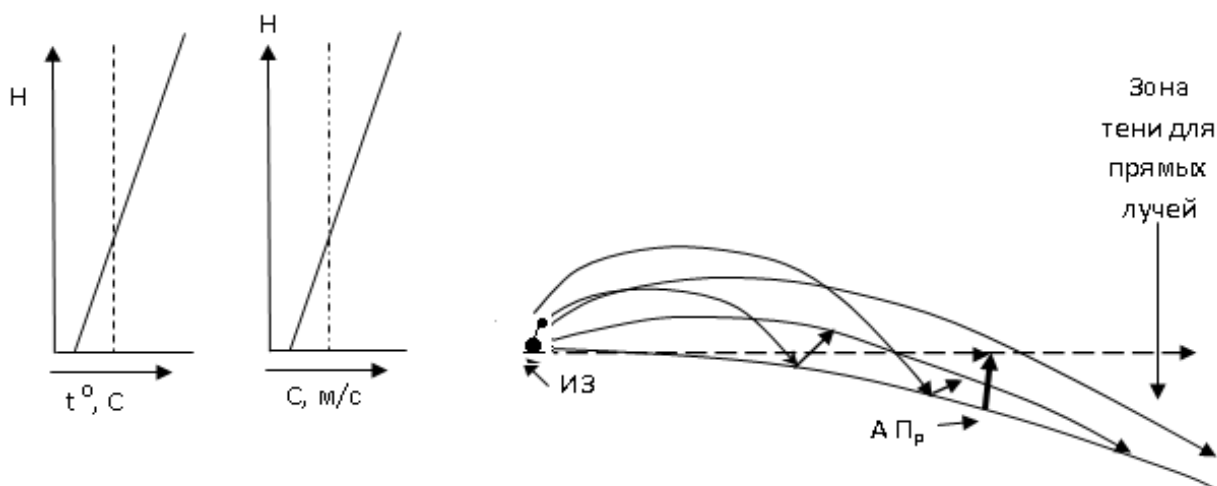


Рисунок 1 – Схема распространения акустических лучей при отрицательной рефракции (инверсия)

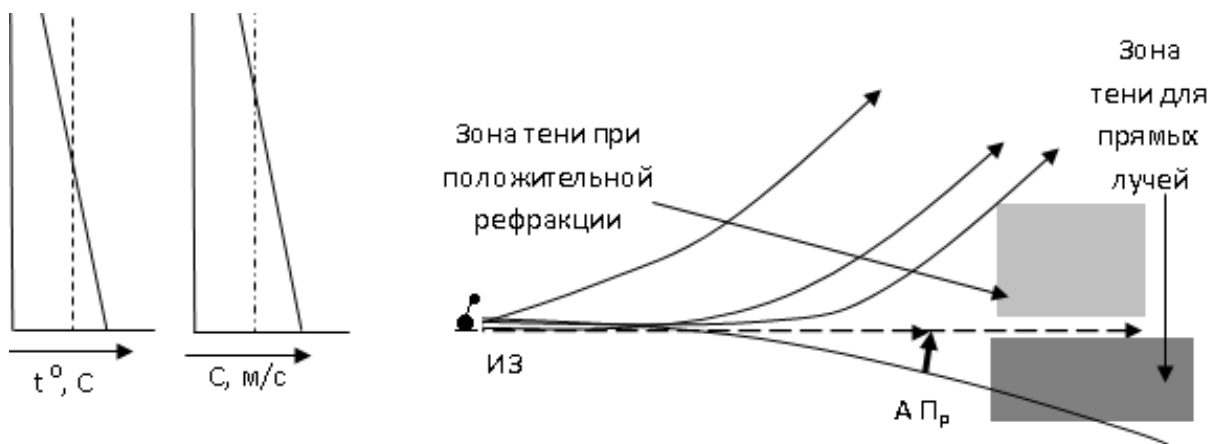


Рисунок 2 – Схема распространения акустических лучей при положительной рефракции (конвекция)

Геометрическая дальность обнаружения, наоборот, полностью определяется стратификацией атмосферы, рельефом подстилающей поверхности и рефракцией акустических лучей. Произведя построение лучевой

картины, которая представляет собой набор траекторий акустических лучей, пронизывающих воздушное пространство, можно судить о формировании зоны акустической освещенности – области пространства, которое пронизывают акустические лучи, и зоны акустической тени – области пространства, куда акустические лучи не попадают. Геометрическая дальность действия определяется зоной акустической освещенности, которая может быть меньше энергетической дальности действия. В этом случае дальность обнаружения будет определяться геометрией распространения акустических лучей или зоной акустической освещенности.

Возможен и другой вариант, при котором протяженность зоны акустической освещенности гораздо больше энергетической дальности действия, тогда приоритетным значением будет значение энергетической дальности действия.

Таким образом, геометрическая дальность обнаружения акустических волн определяется геометрической зоной акустической освещенности, получаемой в результате построения лучевой картины, зависящей от стратификации атмосферы, рельефа подстилающей поверхности, высоты источника звука и характеристик его направленности.

## V Ожидаемая дальность обнаружения акустических волн

Стратифицированная атмосфера не только способствует рефрагированию (искривлению) акустических лучей, но также осуществляет фокусировку или концентрацию акустических лучей вдоль определенного направления, что способствует распространению акустической энергии на расстояния, гораздо большие, чем энергетическая дальность действия. Фокусирующие свойства стратифицированной атмосферы учитываются функционалом  $A$  – аномалией распространения акустической энергии. В общем виде аномалия распространения учитывает и рефракцию акустических лучей, которую в различных источниках называют и лучевой картиной, и конфигурацией акустического поля, и зональным представлением распространения акустической энергии и др.

Для решения прикладных задач атмосферной акустики используется коэффициент аномалии, который для конкретных условий определяется эмпирическим путем. Значение энергетической дальности  $D_э$ , умноженное на коэффициент аномалии стратифицированной среды  $K_A$ , будет представлять ожидаемую дальность действия акустоэлектронного средства по конкретному шумящему объекту. Другими словами ожидаемая дальность действия  $D_о$  будет иметь вид:

$$D_о = D_э \cdot K_A. \quad (6)$$

Фактическая дальность действия акустоэлектронного средства  $D_ф$  – это дистанция, на которой происходит обнаружение одного и того же объекта или однотипных объектов в одинаковых условиях. По совокупности наибольших фактических дальностей обнаружения строятся интегральные зависимости обнаружения, как показано на рис. 3.

В зависимости от вероятности обнаружения цели строятся зоны обнаружения. Дистанция, начиная с которой вероятность обнаружения цели равна единице, принимается дальностью достоверного обнаружения. Она образует зону достоверного обнаружения, которая располагается за окружностью, радиус которой равен  $D(p=1)$ .

Дистанция, на которой вероятность обнаружения цели равна 0,5, принимается наибольшей дистанцией вероятного обнаружения  $D(p=0,5)$ . Зона, образованная окружностью радиуса  $D(p=0,5)$ , располагающаяся за областью достоверного обнаружения, является зоной вероятного обнаружения.

Область пространства, располагающуюся за зоной вероятного обнаружения, принято называть зоной неуверенного обнаружения. Она ограничивается окружностью, радиус которой равен максимальной фактической дальности обнаружения.

Статистика и построенные на ее основе интегральные зависимости обнаружения конкретных объектов (источников звука) в определенных гидрометеорологических условиях в одном и том же регионе (участка местности) позволяют получить эмпирические значения коэффициентов аномалии стратифицированной воздушной среды. Их значения в приземных слоях атмосферы изменяются от 0,2 – 0,5 до 3,5 – 6,5 и учитывают геометрическую дальность обнаружения. Применительно к рассмотренным выше примерам дальность обнаружения может изменяться в несколько раз.

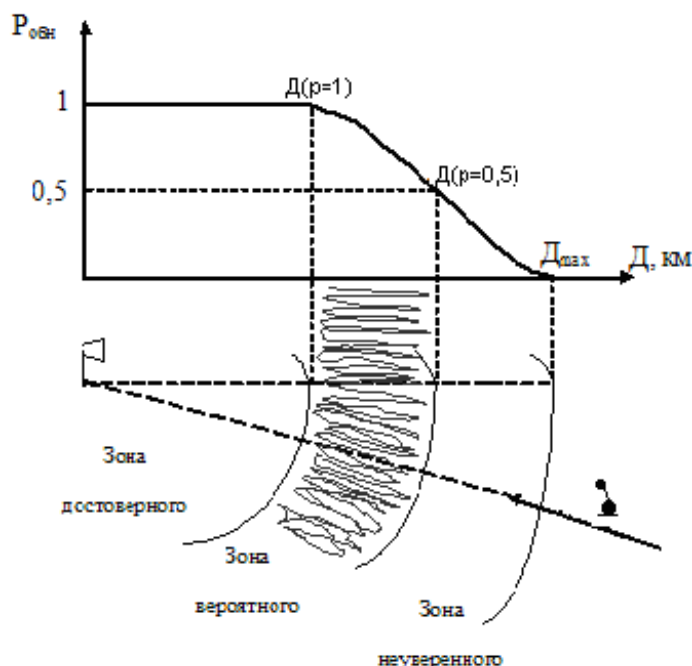


Рисунок 3 – Схема, поясняющая интегральные зависимости обнаружения

Таким образом, ожидаемая дальность обнаружения акустической цели учитывает геометрическую дальность действия и определяется как произведение энергетической дальности действия на коэффициент аномалии стратифицированной атмосферы.

## VI Систематизация факторов, определяющих дальность действия акустических средств

Подводя итог вышеизложенному, отметим, что дальность регистрации акустической информации зависит от трех групп факторов.

Первая группа определяется деятельностью самих источников информации, находящихся на открытой площадке. К ней относятся поведение объектов наблюдения, используемые ими технические средства (телефоны, ноутбуки и др.), интенсивность их разговоров, продолжительность пребывания на открытых площадках и т. д. В целом эти параметры достаточно хорошо прогнозируемы и позволяют определить ожидаемый динамический и частотный диапазон акустических сигналов.

Вторая группа характеризуется параметрами самого акустического средства. Сюда входят не только чувствительность микрофонов, направленность акустических антенн, но и возможности аппаратно-программных средств, обеспечивающих регистрацию, распознавание, запоминание, идентификацию принятых акустических сигналов. В принципе эти параметры тоже известны (например, из рекламных каталогов). Тактика использования акустико-электрических средств также прогнозируема.

Третья группа факторов охватывает физико-географические региональные особенности района, где располагается открытая площадка, и среду – атмосферу, в которой распространяются акустические волны. Параметры атмосферы – температура, давление, влажность воздуха – определяют значение пространственного затухания, которое зависит от них и изменяется в течение суток. Стратификация приземных слоёв атмосферы определяется распределением этих параметров по высоте и формирует положительную или отрицательную рефракцию акустических волн, волноводную концентрацию и антиволноводное рассеивание акустической энергии. Особенности ландшафта – рельеф местности, растительный покров, его интенсивность, наличие строений и др., определяют протяженность зон акустической освещенности и тени. В эту группу также входит акустический фон, интенсивность которого изменяется не только по климатическим сезонам, но и в течение суток, а также различные метеорологические явления, такие как дождь, гроза, ветер, смерч и т. д. Эти факторы учитывает интегральный коэффициент аномалии атмосферы. Для определения его значений необходимо проводить специальные исследования.

## VII Выводы

1. Энергетической дальностью обнаружения акустического сигнала является расстояние, при котором достигается равенство интенсивности акустического поля в стандартной атмосфере и энергетического потенциала определенного приемного устройства по конкретной акустической цели в заданной помеховой обстановке. Она может составлять от десятков метров до единиц километров.

2. Геометрическая дальность обнаружения акустических волн определяется геометрической зоной акустической освещенности, получаемой в результате построения лучевой картины, зависящей от стратификации атмосферы, рельефа подстилающей поверхности, высоты источника звука и характеристик его направленности.

3. Ожидаемая дальность обнаружения акустической цели учитывает геометрическую дальность действия и определяется как произведение энергетической дальности действия на коэффициент аномалии стратифицированной атмосферы.

4. Дальность действия акустоэлектронных средств, обеспечивающих прием информации с открытых площадок, определяется тремя группами факторов, а именно, поведением источников информации, техническими параметрами самого средства и физико-географическими характеристиками региона, где располагается площадка. Если первые две группы достаточно точно определяются, то для получения данных о третьей группе необходимо проведение специализированных исследований.

*Литература: 1. Математический энциклопедический словарь / Под ред. Ю. В. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 847 с. 2. Грінченко В. Т. Основи акустики / В. Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маціпура. – К.: Наукова думка, 2007. – 640 с. 3. Дидковский В. С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В. С. Дидковский, М. В. Дидковская, А. Н. Продеус. – К.: Наукова думка, 2008. – 420 с. 4. Гончаренко Ю. Ю. Оценка дальности регистрации речевой информации с открытых площадок // Сучасний захист інформації. – №4. – К.: ДУІКТ, 2011. – С. 72 – 76.*