

УДК 534.873

Ю.Ю. Гончаренко

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности,
Севастополь

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЪЕМА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В работе дается анализ факторов, определяющих энергетическую дальность действия приемных акустических средств, рассматриваются фокусирующие свойства приземных слоев атмосферы и геометрическая дальность обнаружения акустических целей, на основании чего разрабатывается физическая модель съема речевой информации.

Ключевые слова: физическая модель, звук, акустические сигналы, речевая информация, дальность обнаружения.

Введение

Съем речевой информации – одна из актуальных прикладных задач, которую решают в период оперативно-розыскной деятельности и физической защиты охраняемых потенциально-опасных объектов правоохранительные структуры и специальные государственные службы [1 – 4].

Строго говоря, съем речевой информации – это целенаправленный процесс регистрации акустических сигналов в звуковом диапазоне частот специальными акустическими средствами [5, 6]. Одним из таких средств являются направленные микрофоны – специальные акустические приемные устройства, которые позволяют регистрировать акустические сигналы и производить съем речевой информации на открытых площадках от нескольких сот метров до единиц километров [7 – 8]. Подобный разброс дистанций для одних и тех же высокотехнологических акустических приемников обусловлен тем, что на распространение звука влияет среда, в которой распространяются акустические волны, а именно приземные слои атмосферы. Чтобы учесть эти факторы, необходимо описать физическую модель съема речевой информации, на основе которой можно разрабатывать аппаратно-программные средства, позволяющие прогнозировать дальность съема речевой информации в районе решения поставленной прикладной задачи.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является разработка физической модели съема речевой информации, которая фактически является моделью обнаружения акустических целей (сигналов) в приземных слоях атмосферы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Во-первых, проанализировать факторы, определяющие энерге-

тическую дальность действия приемных акустических средств. Во-вторых, рассмотреть геометрическую дальность обнаружения акустических целей и фокусирующие свойства атмосферы. В-третьих, разработать физическую модель съема речевой информации.

Факторы, определяющие энергетическую дальность действия приемных акустических средств

Наибольшее значение дистанции, при котором достигается равенство энергетического потенциала акустического средства обнаружения и закономерности спада интенсивности акустического поля, является энергетическая дальность обнаружения определенной цели.

Другими словами, энергетическая дальность действия зависит от трех групп факторов, а именно: характеристик средств обнаружения, параметров акустической цели и помеховой обстановки. Независимо от того, какой вид направленного микрофона используется (параболический, фазированная акустическая решетка, трубчатый, градиентный), они имеют определенные технические характеристики. Это чувствительность, ширина характеристики направленности, коэффициент осевой концентрации, коэффициент распознавания, разрешающая способность по угловым координатам, рабочая полоса частот, центральная частота, уровень собственных шумов.

Чувствительность микрофона E – это отношение снимаемого с микрофона электрического сигнала к акустическому давлению звуковой волны, воздействующей на него. Измеряется в $\text{мВ}\cdot\text{Па}^{-1}$ и зависит от частоты. Функциональная зависимость изменения чувствительности микрофона от частоты отражается его амплитудно-частотной характеристикой. По этой причине для разных частот значения чувствительности микрофона будут различными. В то же время на фиксированной частоте простран-

венная чувствительность микрофона изменяется. Ее принято называть характеристикой направленности микрофона, соответственно, в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. В состав характеристики направленности входят основной (главный) и второстепенные (паразитные) максимумы. Величина угла, определяющая значение на уровне 0,707 главного максимума, является шириной характеристики направленности ($\Theta_{\text{ХН}}$). Отношение величины регистрируемого сигнала от источника звука, находящегося на оси главного максимума направленного микрофона, к величине сигнала от этого же источника, находящегося на этом же расстоянии при ненаправленном приеме, принято называть коэффициентом направленного действия $J_{\text{ПР}}$.

Коэффициент распознавания δ – это минимальное соотношение величины полезного сигнала к величине помехи, которое достоверно регистрируется приемным устройством при заданных значениях вероятности правильного обнаружения и вероятности ложной тревоги.

Минимальный угол, при котором две акустические (шумящие) цели разрешимы (наблюдаются раздельно) при направленном приеме, называют разрешающей способностью микрофона по угловым коэффициентам $\Delta\Theta$.

Рабочая полоса частот ΔF определяется разностью верхней и нижней частот, используемых в рабочей амплитудно-частотной характеристике микрофона ($f_{\text{В}} - f_{\text{Н}}$), а центральная частота f_0 определяется как среднее геометрическое величина, т.е. $f_0 = \sqrt{f_{\text{В}} \cdot f_{\text{Н}}}$.

Уровень собственных шумов микрофона $P_{\text{ПС}}$ является паспортной технической характеристикой, зависящей от используемых материалов, качества изготовления и других факторов, как правило, неизменная величина для одних и тех же термобарических условий.

Параметры акустической цели определяются главным образом интенсивностью шума и его спектром.

Формализуя этот процесс, акустиками было принято говорить о приведенной шумности, т.е. значении акустического давления, создаваемого источником на расстоянии 1 м на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц. Однако приемные устройства фиксируют сигналы в рабочей полосе частот ΔF , определяемой верхней и нижней частотами. В связи с этим говорят о приведенной шумности, как о значении акустического давления, создаваемого источником на расстоянии 1 м в рабочей полосе частот приемного устройства на центральной частоте $P_{\text{ШО}}$. Спектральные характеристики акустических целей, к которым относятся ширина спектра, параметры его

спада, дискретные составляющие, временные вариации, амплитудно-частотные и тональные особенности детализировать не будем. Отметим только то, что они являются главным фактором, позволяющим идентифицировать цели (классифицировать и опознать, т.е. привязать индивидуально).

Помеховая обстановка определяется акустическим фоном и его изменчивостью $P_{\text{АФ}}$.

Строго говоря, ни один из рассмотренных параметров, ни одна из измеряемых величин не является постоянной. Они все имеют сложные функциональные зависимости от множества факторов, учесть которые для текущего состояния времени не представляется возможным. Поэтому в классической физике предлагаются идеальные условия решения задач. Делаются допущения о том, что на рассматриваемый период времени все параметры, определяющие состояние физической системы, постоянны, кроме двух основных, один из которых является аргументом, а другой – соответствующей функцией. Фактор среды в этом случае не учитывается. Среда считается безграничной и однородной, в которой затухание звука происходит на величину a , значение которой определяется центральной частотой приемного устройства.

Совокупность технических факторов приемного устройства будем считать постоянными величинами. Помехи, определяемые собственными шумами и акустическим фоном, также будем считать постоянными. Значение уровня шумов в полосе приема для каждой акустической цели индивидуально. Соответственно, чем выше уровень шумов, тем больше дальность обнаружения. Кроме этого, также говорят, что объединение технических параметров приемного устройства и акустических параметров представляет собой энергетический потенциал обнаружения определенного устройства на конкретной акустической цели.

Таким образом, энергетическая дальность обнаружения акустических целей является функциональной зависимостью от энергетического потенциала приемного устройства, что соответствует идеальным условиям решения задачи.

Фокусирующие свойства атмосферы и геометрическая дальность обнаружения

Приземные слои атмосферы, как и вся воздушная среда, никогда не бывает безграничной (всегда имеется подстилающая земная поверхность) и однородной. Распределение основных физических параметров: температуры, плотности, атмосферного давления и производной от них скорости распространения звука не бывает в реальной среде однородным. Оно либо растет, либо уменьшается с высотой, что приводит к положительной или отрицательной рефракции.

В идеальном случае, когда акустические лучи распространяются прямолинейно, будем иметь стандартную дальность действия, определяемую видимостью горизонта – D_1 , как показано на рис. 1. В этом случае еще говорят, что среда никак не влияет на распространение звука в приземных слоях или коэффициент влияния среды равен единице. Здесь, если энергетическая дальность обнаружения геометрическая, то последняя будет доминировать. Ко-

гда скорость звука убывает с высотой, лучи рефрагируют вверх, и геометрическая дальность уменьшается. Коэффициент влияния среды будет меньше единицы, т.е. как правило геометрическая дальность обнаружения будет меньше энергетической.

Ситуация развивается по-другому, когда скорость звука растет с высотой, лучи рефрагируют вниз, огибают земную поверхность и геометрическая дальность обнаружения увеличивается.

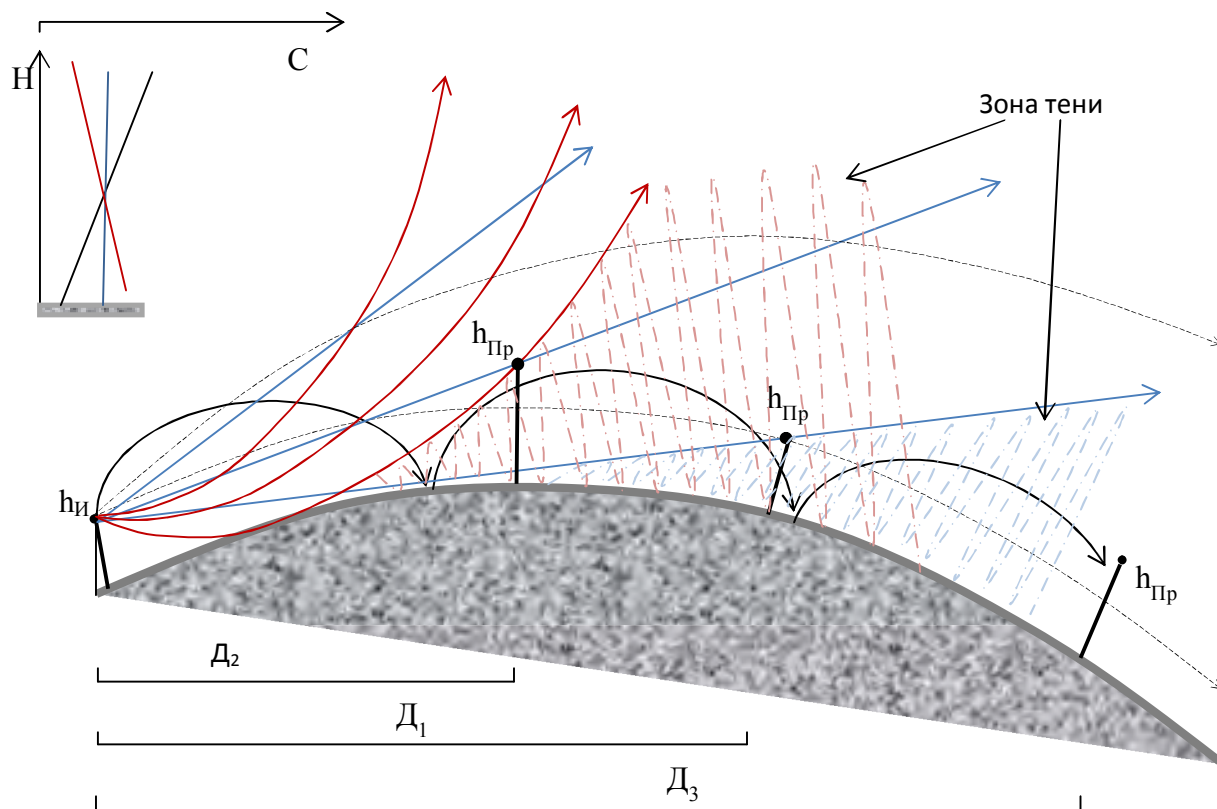


Рис. 1. Схема, поясняющая понятие геометрической дальности обнаружения

Здесь коэффициент влияния среды будет больше единицы. Другими словами геометрическая дальность обнаружения будет определяться, как произведение энергетической дальности обнаружения на коэффициент влияния среды

$$D_{\Gamma} = D_{\mathcal{E}} \cdot K_{\text{среды}} \quad (1)$$

Безусловно, это справедливо для условий, приближенным к идеальным, т.е. фактор среды учитывается, но сама среда близка к идеальной.

Рассматривая более сложные картины акустических полей, приходится говорить о фокусировке акустической энергии в приземных слоях атмосферы по аналогии с акустическими полями в водной среде. Тогда коэффициент влияния среды $K_{\text{среды}}$ будет являться частным случаем проявления фактора фокусировки акустической энергии в приземных слоях атмосферы.

Строго говоря, фактор фокусировки $\Phi_{\text{ф}}$ – функционал, который зависит от конфигурации акустического поля, определенных вертикальным рас-

пределением скорости звука (ВРСЗ), высоты источника, ширины диаграммы направленности его излучений, высоты (горизонта) расположения, приемника, конфигурации акустических лучей в точке приема. Фактор фокусировки показывает, во сколько раз интенсивность акустического поля в рассматриваемой точке пространства (распространяющегося в реальной среде) будет больше или меньше по сравнению с интенсивностью акустического поля, распространяющегося в однородной безграничной среде в этой же точке пространства.

Фактор фокусировки акустического поля в соответствии с методами лучевой теории рассчитывается как дискретно изменяющаяся функция в соответствии с пошаговым дискретным изменением дистанции (расстоянием от источника звука). Пример расчета значений фактора фокусировки представлен на рис. 2, рассчитанный для высот h_1 и h_2 выше и ниже источника звука. На расстоянии 2 и 4 км от источника звука на высоте h_2 ни один луч не про-

ходит через точку приема, вследствие чего значение фактора фокусировки равно нулю.

Таким образом, геометрическая дальность действия определяется как произведение энергетиче-

ской дальности на значение фактора фокусировки в рассматриваемой точке пространства. Для условий, приближенных к идеальным, фактор фокусировки проявляется как коэффициент влияния среды.

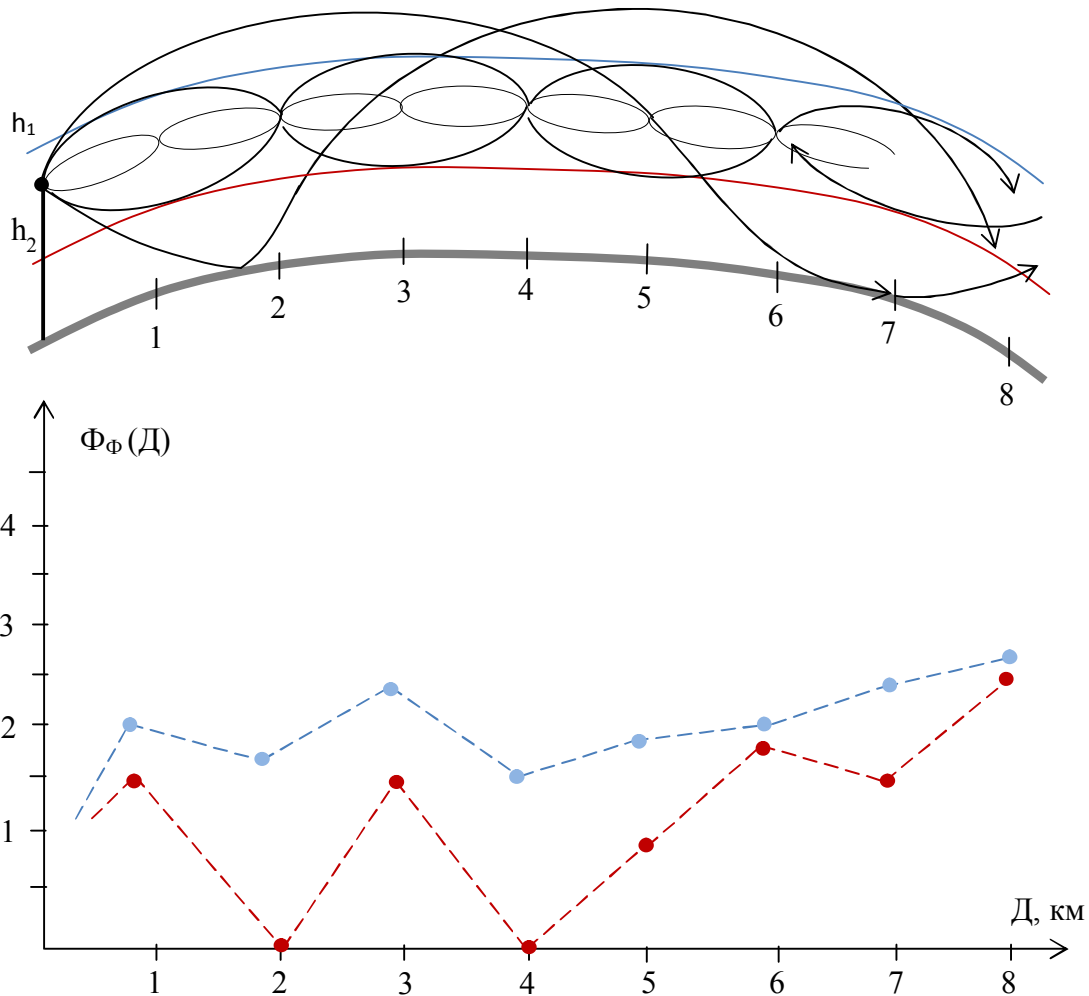


Рис. 2. Конфигурация акустического поля и график соответствующего ему фактора фокусировки для высот h_1 (выше источника звука) и h_2 (ниже источника звука)

Физическая модель съема речевой информации

Фактическая, т.е. реально получаемая дальность приема акустических сигналов, будет определяться действием трех групп факторов, а именно: технических параметров приемника сигналов (направленного магнитофона), акустических параметров источника звука и воздействия среды – приземных слоев атмосферы.

Упрощая эту задачу, параметры всех трех групп остаются неизменными во времени, т.е. в течении съема речевой информации ни один из параметров не изменяется. Кроме этого, в соответствии с методами лучевой акустики имеем источник и приемник звука, так как излучение от источника идет во всех направлениях, а акустический прием сигналов направленный, ограниченный предельными акусти-

ческими лучами, которые формируются характеристикой направленности.

Но факторы среды между источником и приемником, не изменяющиеся во времени, могут изменяться по дистанции вдоль акустической трассы и соответствующим образом действовать на прием акустических сигналов. Первый фактор – это акустический фон A_{ϕ} . Он зависит от множества причин природного и техногенного характера, но главное в ряде случаев можно считать его постоянным, а в других нет, например, когда акустическая трасса пересекает автомагистраль. Второй фактор – степень затухания звука α . Если акустическая трасса пересекает конденсатный бассейн с испарениями, зону фонтанов или пруд-охладитель АЭС, то степень затухания вдоль акустической трассы будет изменяться. ВРСЗ, как было рассмотрено выше, может быть постоянным вдоль трассы и наоборот.

Подстилающая поверхность (ПП) определяет степень отражения акустической энергии и также может быть и постоянной, и изменяться вдоль акустической трассы.

Следующие три фактора – рельеф, застройка и растительность – по определению не могут быть постоянными и изменяются вдоль акустической трассы, оказывая влияние как на конфигурацию по-

ля, так и на другие факторы. Совокупность этих факторов, одновременно воздействующих на процесс распространения звука от источника к приемнику, определяется как функционал влияния среды.

Графическое изображение этого функционала представлено в центре структурно-логической схемы дальности обнаружения акустических целей (рис. 3).

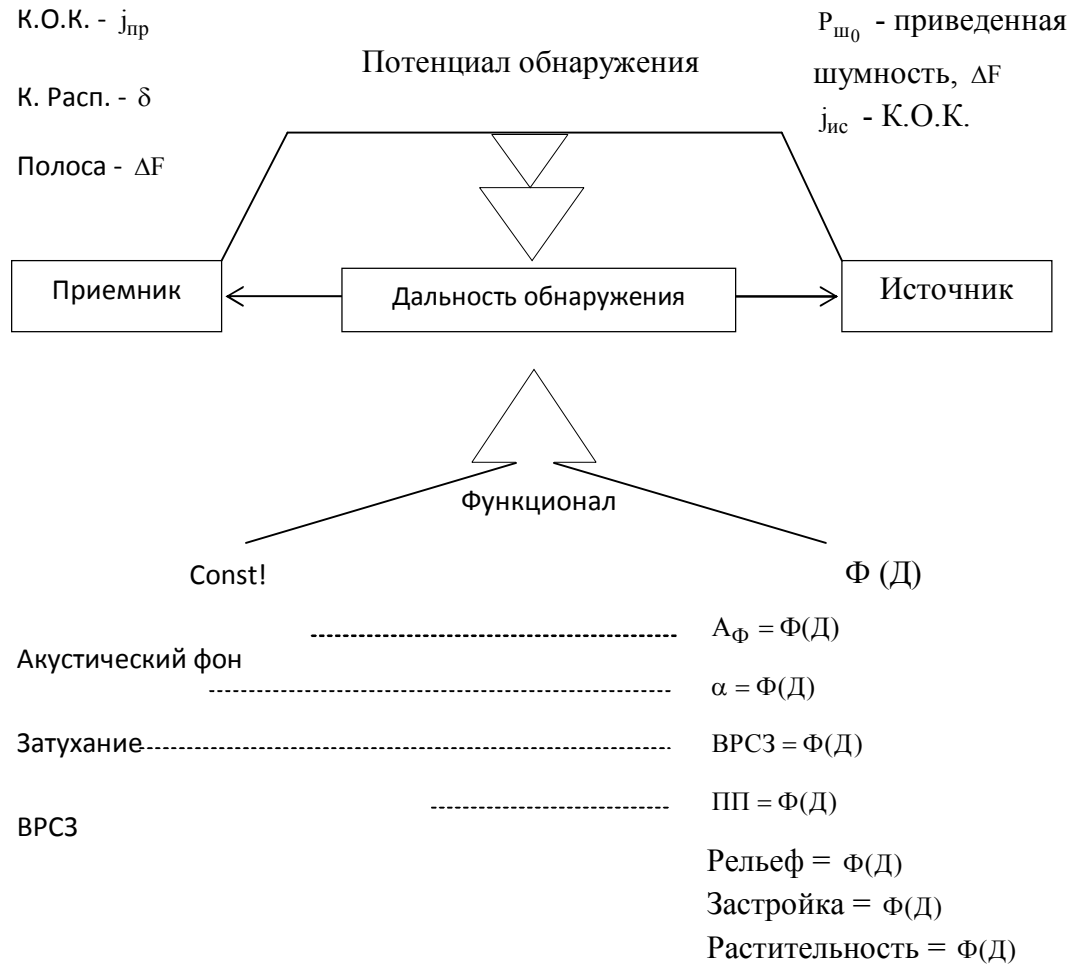


Рис. 3. Структурно-логическая схема дальности обнаружения акустических целей

В верхней части структурной схемы – потенциал обнаружения, который определен техническими параметрами приемника (коэффициентом осевой концентрации направленного микрофона, коэффициентом распознавания, полосой и центральной частотой) и акустическими параметрами источника (приведенной шумностью на расстоянии одного метра в полосе приемника и коэффициенту осевой концентрации излучателя), который определяет энергетическую дальность обнаружения.

В центральной части – функционал влияния среды, который определяет окончательное значение дальности обнаружения. Принципиально функционал может быть в двух вариантах. Первый, когда факторы среды постоянны и не меняются вдоль акустической трассы. Тогда, зная все факторы, можно решать аналитическую задачу нахождения дальности

обнаружения акустических целей в условиях, приближенных к идеальным.

Второй вариант, когда факторы среды изменяются вдоль акустической трассы. Здесь также возникают два вида ситуаций. Первая, когда все факторы воздействия среды и их изменения вдоль акустической трассы известны. Тогда, выполнив аналитические расчеты, можно получить результат решения задачи.

Но возможен и другой случай, когда один или несколько факторов среды остаются неизменными (что чаще всего при практических вопросах бывает). Тогда приходится решать задачу в условиях неопределенности, которые математически относят к классу некорректно поставленных задач.

Таким образом, физическая модель дальности обнаружения акустических целей представляет собой качественную зависимость дальности обнару-

ження от величины потенциала обнаружения, определяемого техническими параметрами приемника и акустическими параметрами источника звука, причем, чем выше величина потенциала, тем больше значение дальности обнаружения. Окончательное значение дальности обнаружения определяется функционалом влияния среды, состоящего из семи факторов: акустического фона, степени затухания, вертикальным распределением скорости звука, состоянием подстилающей поверхности, рельефом местности, застройкой и растительностью. В зависимости от числа учета факторов и их состояния возможно два варианта решения математических задач. Первый, когда факторы среды вдоль акустических трасс неизменны, решается задача распространения звука в условиях, приближенных к идеальным. Второй, когда факторы среды (хотя бы один) изменяются вдоль акустических трасс, решается задача распространения звука в особых условиях – условиях неопределенности.

Выводы

1. Энергетическая дальность обнаружения акустических целей является функциональной зависимостью от энергетического потенциала приемного устройства, что соответствует идеальным условиям решения задачи.

2. Геометрическая дальность действия определяется как произведение энергетической дальности на значение фактора фокусировки в рассматриваемой точке пространства. Для условий, приближенных к идеальным, фактор фокусировки проявляется как коэффициент влияния среды.

3. Физическая модель дальности обнаружения акустических целей представляет собой качественную зависимость дальности обнаружения от величины потенциала обнаружения, определяемого техническими параметрами приемника и акустическими параметрами источника звука, причем, чем выше величина потенциала, тем больше значение дальности обнаружения. Окончательное значение дальности обнаружения определяется функционалом влияния среды, состоящего из семи факторов: акустиче-

ского фона, степени затухания, вертикального распределения скорости звука, состоянием подстилающей поверхности, рельефом местности, застройкой и растительностью. В зависимости от количества учитываемых факторов и их состояния возможно два варианта решения математических задач. Первый, когда факторы среды вдоль акустических трасс неизменны, решается задача распространения звука в условиях, приближенных к идеальным. Второй, когда факторы среды (хотя бы один) изменяются вдоль акустических трасс, решается задача распространения звука в особых условиях – условиях неопределенности.

Список литературы

1. Закон Украины об оперативно-розыскной деятельности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.zakon.gov.ua>.
2. Закладные устройства. – 2013. – 14 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.helk.zakladka.ru>.
3. Ковалев В.Б. Технические средства коммерческого шпионажа / В.Б. Ковалев. – М.: РИО, 1999. – 68 с.
4. Прокофьев В.Ф. Тайное оружие информационной войны / В.Ф. Прокофьев. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 408 с.
5. Азаренко Е.В. Разработка математической модели синхронных измерений / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк и др. // Сб. науч. праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – Вип. 1(37). – С. 225-231.
6. Дивизинюк М.М. Разработка математической модели идентификации сложных акустических сигналов / М.М. Дивизинюк, Е.Е. Смышков, В.В. Шилин и др. // Сб. науч. праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2011. – Вип. 2(38). – С. 257-261.
7. Проектирование систем технической защиты информации / [Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, И.Н. Павлов и др.]. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – 235 с.
8. Методи керування інформаційною безпекою / [Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дівізінюк, В.О. Хорошко та ін.]. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2010. – 328 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2014

Рецензент: член-кор. НАНУ, д-р техн. наук, с.н.с. Ю.Л. Забулонов, Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев.

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЗНЯТТЯ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Ю.Ю. Гончаренко

У роботі надається аналіз факторів, що визначають енергетичну дальність дії приймальних акустичних засобів, розглядаються фокусуєчі властивості приземних шарів атмосфери і геометрична дальність виявлення акустичних цілей, на підставі чого розробляється фізична модель знімання мовної інформації.

Ключові слова: фізична модель, звук, акустичні сигнали, мовна інформація, дальність виявлення.

PHYSICAL MODEL OF SPEECH INFORMATION OUTPUT

Yu.Yu. Goncharenko

In the paper the analysis is provided of the factors affecting energy range of acoustic receivers. Focusing properties of surface layers of the atmosphere and the geometric detection range of acoustic targets are considered. The physical model of speech information output is developed.

Keywords: physical model, sound, acoustic signals, voice information, detection range.