

Луценко В.И., Луценко И.В., Соболяк А.В.

## ПАССИВНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ, ДАЛЬНОСТЬ ИХ ДЕЙСТВИЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

**Введение.** В настоящее время все больший интерес проявляется к активно-пассивным средствам радио и акустической разведки [1]. Это связано с тем, что активно-пассивные системы используют существующие поля для подсветки объектов и приема, отраженных от них полей для их обнаружения и идентификации. В пассивных системах используют собственные тепловые или акустические излучения объектов для их выявления. Именно поэтому в отличие от активных систем радио- и звуко- гидролокации активно-пассивные и пассивные системы себя не демаскируют и, вследствие чего, обладают существенно большей живучестью. В последнее время, более чем через 80 лет с момента возникновения, интерес к акустическим системам разведки снова возрос. Первоначально их использовали в системе ПВО для обнаружения самолетов и наведения на них прожекторов и зенитных орудий. Затем из-за возрастания скорости, высоты полетов самолетов и существенного снижения, получаемых при этом точностей наведения, а также в связи с появлением альтернативных методов, использующих для решения этих задач радиоволны, интерес к пассивным акустическим системам обнаружения исчез на длительное время. Сейчас из-за большей скрытности и живучести активно-пассивных комплексов, наблюдается очередной всплеск интереса к ним, в том числе, и к пассивным системам акустической разведки и целеуказания. Их пытаются использовать для обнаружения гусеничной и колесной наземной техники, аэродинамических объектов [1]. Предпринимаются попытки их применения для обнаружения отдельных людей и групп, поиска и определения местоположения снайпера после произведенного выстрела [2], в рамках антитеррористических операций, а также для анализа возникновения экстремальных ситуаций в местах большого скопления людей.

Дальность действия активно-пассивных радиосистем и пассивных акустических систем и точность оценивания координат в значительной степени зависит от уровня излучаемых полей, их спектральных характеристик, а также параметров среды распространения и подстилающей поверхности, которые до настоящего времени пока изучены недостаточно. Целью настоящей работы является разработка методики оценки дальности действия и точности оценки координат пассивными акустическими системами.

### 1. Оценка дальности действия акустических систем.

**Затухание звука в атмосфере.** В качестве объектов акустической разведки могут выступать: наземные транспортные средства; аэродинамические объекты (самолеты и вертолеты), а также артиллерийские и ракетные системы. Наземные и воздушные объекты, излучают звук в достаточно широкой полосе частот, однако в спектрах присутствуют компоненты, связанные с работой двигательной установки (частоты кратные частоте вращения вала двигателя, лопастей винтов или лопаток турбин и компрессоров). Излучаемый ими шум квазистационарный. Звук выстрела существенно нестационарен. Использовать для его описания разложения по гармоническим функциям (спектр Фурье) необходимо с осторожностью.

Спектр источника звука  $S_r(f, R, h_r, h_T)$ , находящегося на высоте  $h_T$  и удалении от приемника  $R$  который расположен на высоте  $h_r$ . Интегральное значение множителя ослабления  $L_1(1)$  акустического сигнала до приемника расположенного на высоте  $h_r$  и дальности  $R$  от источника звука, находящегося на высоте  $h_T$  за счет атмосферы  $L(f, R)$  и подстилающей поверхности  $V(f, R, h_r, h_T)$  при распространении на расстояние  $R$  и его спектр  $S_r(f, R, h_r, h_T)$  определяются соотношением:

$$L_1(R, h_r, h_T) = \frac{\int_0^{\infty} S_r(f, R, h_r, h_T) df}{\int_0^{\infty} S_r(f, R=0, h_r, h_T) df} = \frac{\int_0^{\infty} S_T(f) L(f, R) V(f, R, h_r, h_T) df}{\int_0^{\infty} S_T(f) df} \quad (1)$$

На рис. 1 приведены спектры излучения некоторых источников шума на разных удалениях от них при распространении в атмосфере. При расчетах использовались данные по затуханию звука в атмосфере [3]. Они приведены для случая наиболее сильного затухания сигнала, которое наблюдается при небольших температурах воздуха (15 град) и влажности (20 %). Видно, что с возрастанием дальности снижают-

ся различия в спектрах излучения разных источников. В силу изрезанности спектра источников излучения и их широкополосности для оценки дальности обнаружения удобно пользоваться интегральной интенсивностью источника шума и интегральным ослаблением (1).

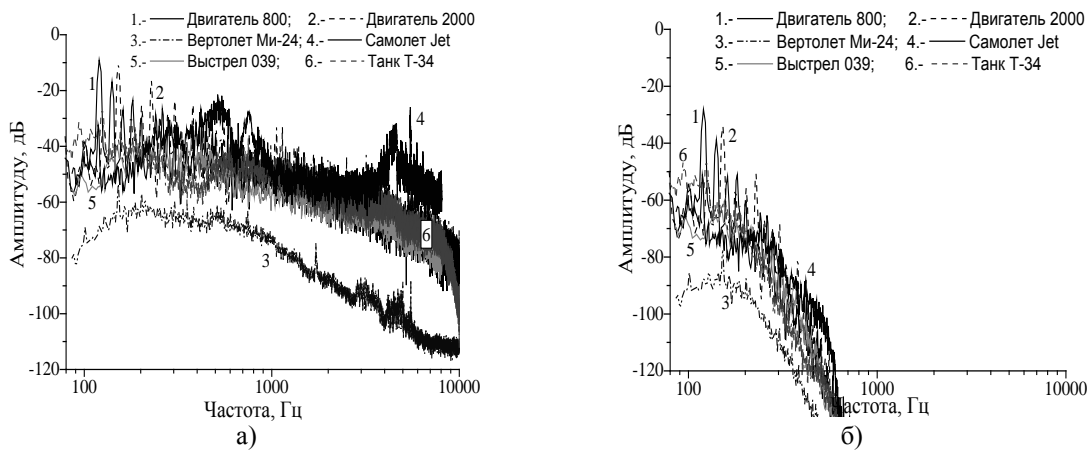


Рисунок 1 – Спектры акустических сигналов на разных удалениях от источников при распространении в атмосфере: а – возле источника; б – дальность 8 км

На рис. 2 показаны получаемые при этом интегральные ослабления акустического поля различных источников излучения на различных дальностях за счет распространения в атмосфере при разной ее температуре и влажности. Видно, что наибольшие затухания наблюдаются в атмосфере при низких температурах и малой влажности, причем наиболее сильно затухает излучение реактивного самолета, несколько меньше – вертолета и звук выстрела. Слабее всего затухает излучение работающего дизельного двигателя.

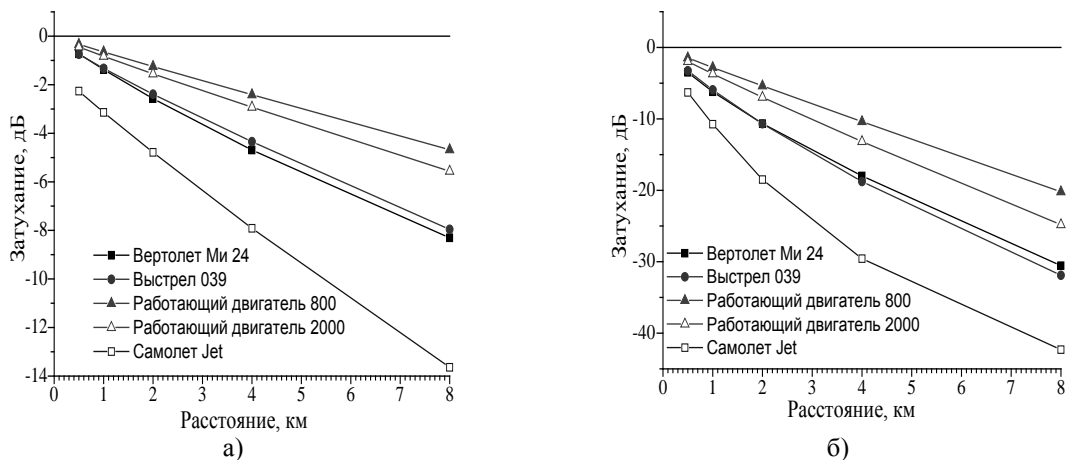


Рисунок 2 – Затухание акустического излучения в атмосфере: а – температура 10, влажность 70 %; б – температуре 15, влажности 20 %

Влияние земной поверхности на затухание звука. Интерференция сигналов, приходящих непосредственно от источника шума в приемник и после отражения от поверхности земли с находящимися на ней элементами растительности может приводить к интерференционному ослаблению принимаемого звукового давления. Используя для акустического сигнала [4] подход, аналогичный ранее применявшемуся для оценки множителя ослабления электромагнитного поля поверхностью раздела [5], а также выше описанную методику получения интегрального множителя ослабления (1) были оценены его значения для различных источников шума – рис. 3.

Используя полученные данные по значениям множителя ослабления поверхности и затуханию сигнала в атмосфере, а также по интенсивности источников излучения [1–3], после учета ослабления сигнала за счет расходимости оценены дальности обнаружения различных объектов при разных метеоусловиях.

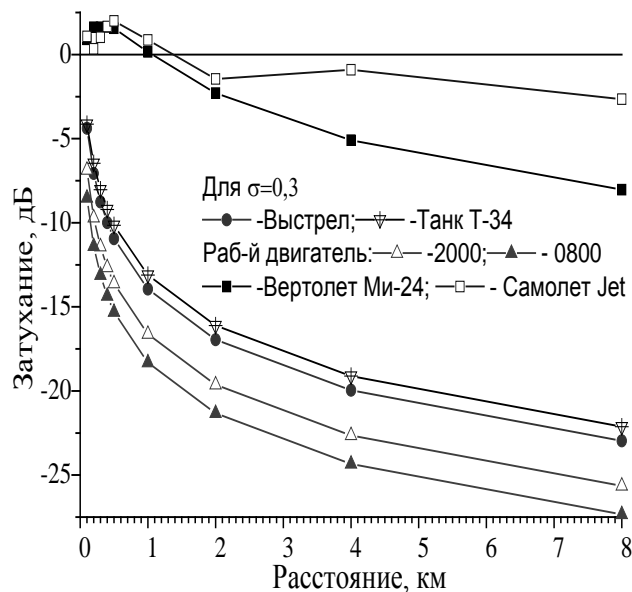


Рисунок 3 – Влияние поверхности раздела на затухание звука

Анализ показывает, что воздушные объекты, даже летящие на малых высотах (50 м), могут обнаруживаться при отсутствии помех или слабых помехах на дальностях более 8 км и только при низкой температуре и влажности дальность их обнаружения снижается до 5 км. При значительных помехах, создаваемых ветром и дождем, дальность обнаружения существенно падает и может быть менее 1 км. Звук выстрела при слабых помехах или их отсутствии обнаруживается на удалениях более 8 км, а при сильных шумах за счет ветра или дождя – на дальностях 6..7 км. При плохих метеоусловиях дальность может упасть до 3 км. Объекты наземной техники в отсутствии шумов или слабых шумах обнаруживаются на удалениях свыше 4 км. Наличие же сильных помех в виде шума ветра или дождя снижает ее до 0,5 км.

**2. Разрешающая способность и точность определения местоположения систем акустической разведки.** Разрешающая способность по дальности определяется шириной спектра принимаемого акустического сигнала. С использованием ранее полученных данных о спектрах источников излучения на разных дальностях была оценено изменение нормированной ширины спектра на различных удалениях от источника при распространении в атмосфере с достаточно низкой температурой и влажностью, т.е. случае наибольших затуханий – рис. 4.

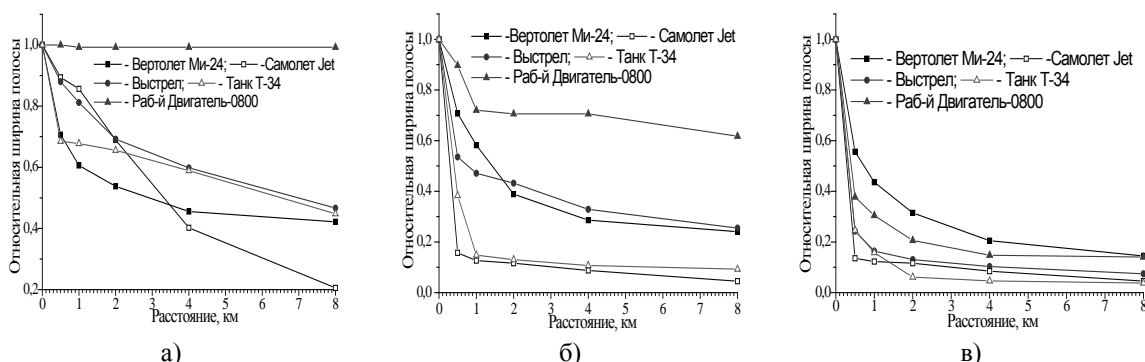


Рисунок 4 – Зависимость эффективной ширины спектра на разных уровнях мощности: а – 50 %; б – 90 %; в – 99 %

Видно, что для большинства объектов достаточно быстро происходит сужение спектра из-за существенно более сильного затухания высоких частот. Уже на дистанциях в 1...2 км эффективная ширина по уровню 50 % уменьшается для большинства объектов в 1,5...2 раза, а на уровнях 90 % и 99 % в 2...6 раз и 3...10 раз соответственно. Исключение составляют объекты наземной техники, для которых большая часть мощности сосредоточена на низких частотах и поэтому на уровне 50 % сужения спектра даже на удалениях

в 8 км практически не происходит, а на уровнях 90 % и 99 % он сужается в 1,5 и 6 раз соответственно. Сужение эффективной ширины спектра источника шума с дальностью приводит к ухудшению разрешающей способности и, как следствие, снижению точности пеленгования систем акустической разведки. Потенциальная разрешающая способность по дальности на различных дальностях от источника приведена в табл. 3

Видно, что на малых дальностях разрешающая способность составляет 0,6...2,8 м, снижаясь до 2,3...4,2 м на дистанциях в 8 км.

Таблица 3 – Разрешающая способность на различных удалениях от источника излучения

| Тип объекта              | Разрешающая способность по дальности, в м на удалении от источника, км |      |      |      |      |
|--------------------------|--|------|------|------|------|
|                          | 0  | 1    | 2    | 4    | 8    |
| Вертолет Ми24            | 0,95   | 1,57 | 1,77 | 2,09 | 2,25 |
| Самолет Jet              | 0,59   | 0,69 | 0,86 | 1,48 | 2,91 |
| Дизельный двигатель 0800 | 2,8  | 2,83 | 2,83 | 2,83 | 2,83 |
| Танк Т 34                | 1,87   | 2,76 | 2,86 | 3,18 | 4,2  |
| Выстрел 039              | 1,08   | 1,33 | 1,56 | 1,81 | 2,31 |

### Заключение

1. Из-за дисперсионных свойств атмосферы при увеличении расстояния до приемника происходит деформация спектра принимаемого сигнала акустических источников шума. Поскольку сильнее затухают более высокочастотные компоненты звука, то происходит сужение его спектра. Возрастание влажности и понижение температуры приводят к увеличению погонного затухания, наиболее сильно на высоких частотах.

2. Интерференционные явления при отражении звука от поверхности земли наиболее сильно сказываются на низких частотах, снижая интенсивность принятого сигнала. Шероховатость же поверхности сильнее сказывается на высоких частотах, где приводит к снижению коэффициента отражения и, как следствие, уменьшению интерференционного влияния поверхности на интенсивность принимаемого сигнала.

3. Эффективная ширина спектра источников акустического шума, являющихся объектами акустической разведки, сужается в несколько раз на дальностях в единицы километров от источника. При этом ухудшается точность определения его местоположения.

4. Показана возможность обнаружения объектов наземной и воздушной техники по их акустическому излучению на удалениях в несколько километров.

### Литература

1. Красько А.С. Поддержка принятия решений по обеспечению общественной безопасности на городских территориальных объектах на основе оперативного анализа аудиоинформации: автореф. дис. на соискание научн. степени кандидата технических наук: спец. 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах / А.С. Красько.– Уфа, 2011. – 16 с.

2. Системы обнаружения снайперов противника / Электронный ресурс <http://newsmilitary.narod.ru/VN-antisniperteh.html>.

3. Шум затухание звука при распространении на местности, часть 2. Общий метод расчета. Межгосударственный стандарт, ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613 -2:1996) // М.: Стандартиформ, 2006. – 42 с.

4. Исаакович М.А. Общая акустика / М.А. Исаакович. Учебное пособие. И-во «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М.: 1973. – 495 с.

5. Бартон Д. Справочник по радиолокационным измерениям / Д. Бартон Г. Вард / Пер с английского под ред. М.М. Вейсберна. – М.: «Сов. Радио», 1976. –392 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Krasko A.S. Podderzhka prinyatiya resheniy po obespecheniyu obschestvennoy bezopasnosti na gorodskih territorialnyih ob'ektah na osnove operativnogo analiza audioinformatsii: avtoref. dis. na soiskanie

nauchn. stepeni kandidata tehnikeskikh nauk: spets. 05.13.10 – Upravlenie v sotsialnyih i ekonomicheskikh sistemah. A.S. Krasko.– Ufa, 2011. – 16 p.

2. Sistemyi obnaruzheniya snayperov protivnika. Elektronnyiy resurs <http://newsmilitary.narod.ru/VH-antisniperteh.html>.

3. Shum zatuhanie zvuka pri rasprostraneniі na mestnosti, chast 2. Obschiy metod rascheta. Mezhgosudarstvennyiy standart, GOST 31295.2-2005 (ISO 9613 -2:1996). M.: Standartinform, 2006. – 42 p.

4. Isaakovich M.A. Obschaya akustika. M.A. Isakovich. Uchebnoe posobie. I-vo «Nauka», Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literaturyi, M.: 1973. – 495 p.

5. Barton D. Spravochnik po radiolokatsionnyim izmereniyami. D. Barton G. Vard. Per s angliyskogo pod red. M.M. Veysberna. – M.: «Sov. Radio», 1976. –392 p.

УДК 621.396.96:621.271.029.65

Луценко В.І., Луценко І.В., Соболяк О.В.

### **ПАСИВНІ АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ, ДАЛЬНІСТЬ ЇХ ДІЇ ТА РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ**

Оцінена дальність дії і роздільна здатність систем акустичної розвідки, які використовують власне випромінювання наземних (транспортні засоби, люди) і аеродинамічних (літаки і вертольоти) об'єктів. Розглянуто вплив на спектри випромінювання атмосфери та підстилаючої поверхні. Для типових об'єктів спостереження отримані значення множника загасання для різних метеорологічних умов і оцінена дальність їх виявлення. Проаналізовано вплив атмосфери на роздільну здатність систем пасивної акустичної розвідки.

Lutsenko V.I., Lutsenko I.V., Sobolyak O.V.

### **PASSIVE S ACOUSTIC SYSTEMS OF RECONNAISSANCE, ITS RANGE OF ACTION AND RESOLUTION**

Range of action and resolution of acoustic reconnaissance systems which use intrinsic radiation of land (vehicles, people) and aerodynamic (planes and helicopters) objects is estimated. Influence on spectra of the atmosphere radiation and underlying surface is considered. Values of attenuation factor for standard object under observation and by different meteorological conditions are received and range of their detection is estimated. Influence of the atmosphere on resolution of passive acoustic reconnaissance systems is analyzed.