АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXV 1979 Вып. 5

УДК 534.322.3:534.83

МОДЕЛЬ СПЕКТРА ВНЕШНИХ ШУМОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Н. П. Красненко, С. Л. Одинцов

Проведена обработка опубликованных экспериментальных данных по измерению уровня шума в различных районах. Выбрана модель спектра внешних шумов, принимаемых акустической антенной с произвольной диаграммой направленности. Приведены параметры модели для районов с различным шумовым загрязнением.

Использование акустических локаторов для зондирования атмосферы, особенно в аэропортах и в городских условиях, ставит вопрос о качественном и количественном описании шумов, на фоне которых принимается и обрабатывается сигнал. Разработка модели таких шумов необходима для прогнозирования работы локатора в районах с различным шумовым загрязнением и для правильного выбора его параметров при работе в данных районах.

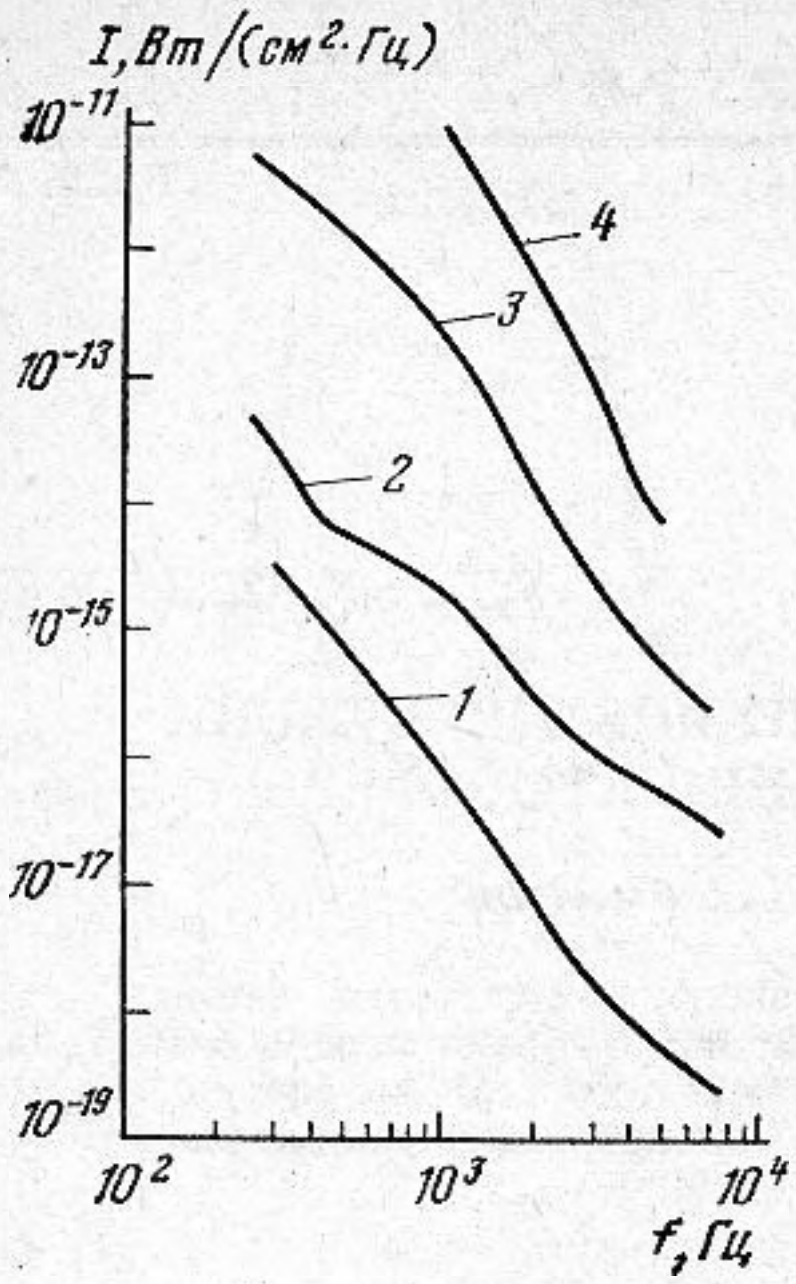
Шумы делятся на внутренние и внешние, которые в свою очередь подразделяются на шумы естественного (атмосферного) и искусственного происхождения. Спектральная плотность мощности (*Вт/Гц*) внутренних шумов приемника локатора определяется формулой

$$N=FkT,$$

где F — коэффициент шума приемника, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура окружающей среды. В диапазоне слышимых звуковых частот, которые используются для целей акустического зондирования атмосферы, F близок к единице и $N\simeq 4\cdot 10^{-21}$ *Вт/Гц*.

Классификация внешних шумов и некоторые оценки их величин приведены в работах [1—3], где показано, что шумы искусственного происхождения являются наиболее существенными при акустическом зондировании атмосферы. К последним относятся шумы, связанные с деятельностью человека, и основной их источник — транспорт и промышленность.

Шумовые источники, как правило, не одиночны, распределены по углам, и принимаемое от них излучение некогерентно и немонохроматично. В качестве характеристик такого излучения используются: интенсивность в *Вт/см*^{2} (или звуковое давление), спектральная интенсивность $I(f)$ в *Вт/(см*$^2\cdot$*Гц)* и угловая спектральная интенсивность $B(\theta, \varphi, f)$ в *Вт/(см*$^2\cdot$*Гц*$\cdot$*ср)*, которая определяет мощность приходящей с направления (θ, φ) волны с частотой f, отнесенную к единице площади антенны, единице частотного интервала и телесного угла $(d\Omega)$. Построение модели угловой спектральной интенсивности было бы наиболее желаемым результатом. Однако измерения $B(\theta, \varphi, f)$, насколько известно авторам, не проводились. Также следует отметить, что угловое распределение мощности излучения должно быть различным в каждой конкретной ситуации и построить универсальную модель $B(\theta, \varphi, f)$, на наш взгляд, не представ-



Фиг. 1. Спектры интенсивностей внешних шумов. Кривые *1—4* получены при обработке измерений, проведенных в условиях, соответствующих точкам *4*, *3*, *14*, *15* на фиг. 2

ляется возможным. Поэтому ниже разрабатывается модель только частотного спектра $N(f)$ внешних шумов, принимаемых антенной с произвольной диаграммой направленности.

Имеющиеся результаты измерения уровней окружающих шумов в различных районах [4—11] проводились для оценки их шумового загрязнения. В качестве приемных датчиков использовались ненаправленные микрофоны. Результаты измерений представлены в виде уровней звукового давления p в *дБ* относительно $p_0=2\cdot10^{-4}$ *бар* для полос частот шириной в $^1/_3$ октавы и октаву, в то время как для целей акустического зондирования атмосферы, где для уменьшения влияния шумов полоса пропускания приемника локатора выбирается как можно меньшей (до 10 *Гц*), необходимо знать спектральные характеристики шумов. Поэтому для определения спектра шумов средние уровни звукового давления p в полосах частот Δf из результатов измерений [4—11] пересчитывались нами в уровни спектра звукового давления $p(f_ц)$ для центральных частот этих полос по формуле

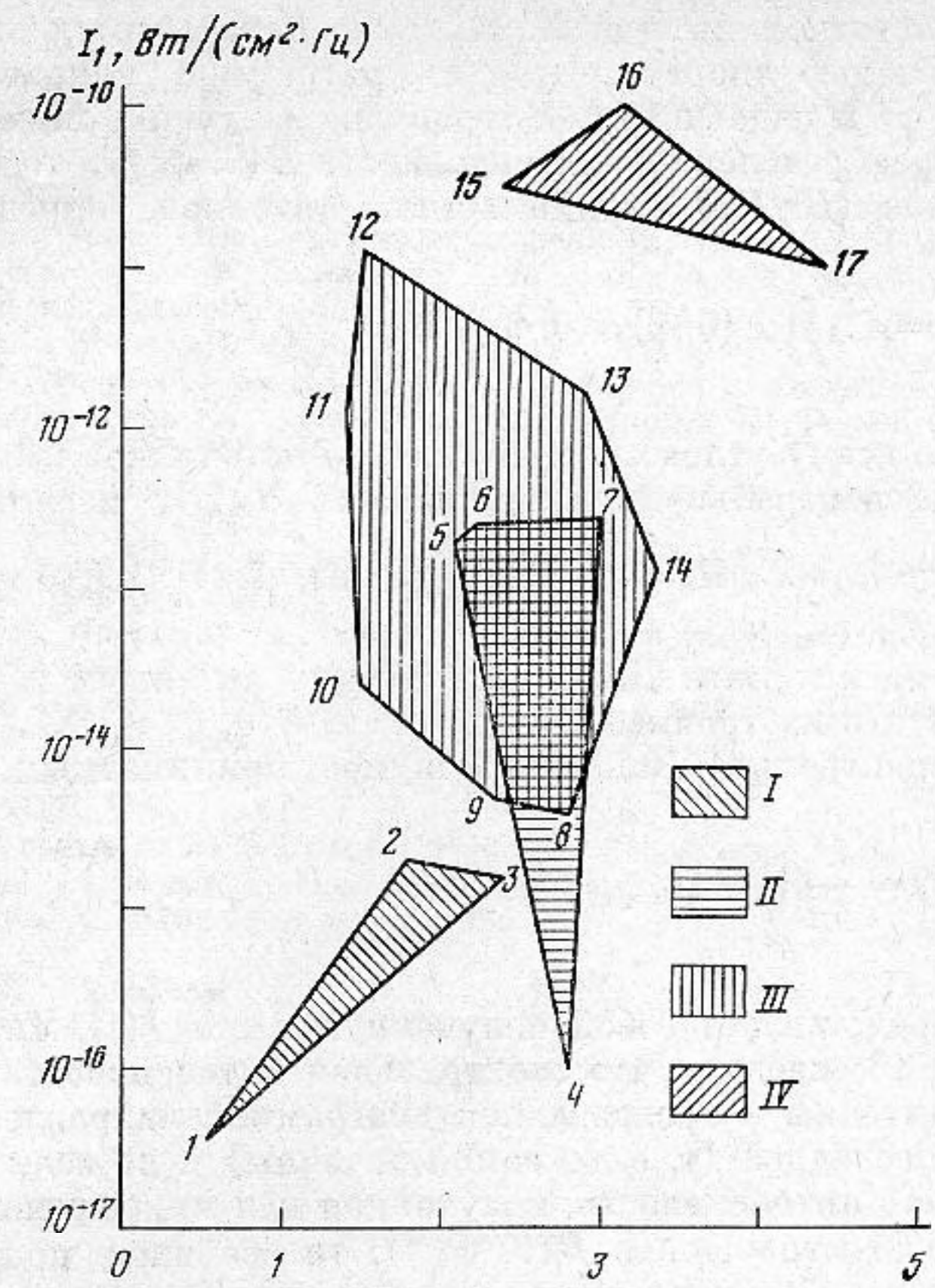
$$p(f_ц)=p-10\lg\Delta f\ дБ.$$

Частично такой пересчет результатов работ [4—7] для диапазона частот 1—5 *кГц* был проведен в работе [3].

Обработка экспериментальных данных [4—11] позволила получить зависимости спектральных интенсивностей I от частоты f. Некоторые из этих зависимостей показаны на фиг. 1. Полученные спектры шумов в логарифмических масштабах с хорошей точностью (ошибка меньше 6%), по крайней мере в рабочем диапазоне частот акустических локаторов 0,6—8 *кГц*, аппроксимируются прямыми линиями. При пересчете в линейные величины получается зависимость спектральной интенсивности внешних шумов следующего вида:

$$I(f)=I_1f^{-a}\ Вт/(см^2\cdot Гц), \tag{1}$$

где I_1 — интенсивность шума на частоте в 1 *кГц*, a — показатель спада спектральной интенсивности, f — значение частоты в *кГц*. Значения параметров модели I_1 и a, полученные для различных условий, показаны на фиг. 2, где их координаты были объединены в четыре группы по характерным источникам шумов в каждой: это шумы в пригородных районах, в городских районах, транспортные шумы и шумы в аэропортах. В результате такого объединения получились некоторые области изменения параметров модели, граничные точки которых указаны для каждой из групп. Как и следовало ожидать, наибольшими по величине являются шумы в аэропортах и транспортные. Диапазон изменения интенсивности шума на частоте в 1 *кГц* может достигать нескольких порядков даже в пределах одной группы, что объясняется разнообразием условий при проведении измерений. Однако наибольший интерес, например для выбора несущей частоты акустического локатора, представляет показатель спада спектральной интенсивности шумов, который при таком широком изме-



а

Фиг. 2. Параметры модели спектральной интенсивности внешних шумов для различных условий: I – шумы в пригородных районах (точки *1* [4], *2* [3], *3* [5]): *1* – сельская местность, дневное время, нет транспортных шумов; *2* – пригородная жилая зона около большого столичного аэропорта; *3* – лесистый пригородный жилой район без сильного уличного движения или парки; II – шумы в городских районах (точки *4* [6], *5* [6], *6* [6], *7* [7]): *4* – минимальный уровень шумов в жилых районах ночью; *5* – промышленный район города; *6* – промышленный шум в жилых районах; *7* – шум на тротуаре в деловой части Пенсильванского колледжа с 8.00 до 17.00 местного времени; III – транспортные шумы (точки *8* [6], *9* [8], *10* [9], *11* [10], *12* [11], *13* [6], *14* [6]); *8* – слабое транспортное движение в жилом районе или в деловой части города, местное время с 8.00 до 17.00, уровень шума на расстоянии 30 *м* от дороги; *9* – шум на ул. Б. Ордынка (Москва), интенсивность движения 61 автомобиль в час (43% грузовых автомобилей); *10* – шум на ул. Ленина в Волгограде, интенсивность движения 200 автомобилей в час (33% грузовых автомобилей); *11* – шум транспортного потока при малом количестве грузовых автомобилей (до 15%); *12* – шум транспортного потока на расстоянии 7,5 *м* от дороги, 1000 автомобилей в час (60% грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов); *13* – деловая часть города, сильное транспортное движение, 15 *м* от дороги; *14* – деловая часть города, среднее транспортное движение, 30 *м* от дороги, время с 8.00 до 17.00; IV – шум в аэропорту (*15* [3], *16* [3], *17* [3]), реактивный самолет на взлете: *15* – 500 *м* сбоку, *16* – 3600 *м* по фронту; *17* – 1800 *м* сбоку от взлетной полосы

нении условий меняется в пределах от 0,5 до 4,5 и для отдельных источников шумов довольно стабилен, особенно для городских шумов, где a изменяется от 2 до 3. Полученные результаты (точки *10* [9], *12* [11]) подтверждают также данные работы [10] (точка *11*), где говорится, что форма спектра (здесь параметр a) шума транспортных потоков не зависит от интенсивности движения и процентного состава грузовых автомобилей в потоке.

Модель (*1*) спектральной интенсивности внешних шумов $I(f)$ пересчитана ко входу микрофонных антенных датчиков, которыми проводились измерения, т. е. представляет собой модель мощности излучения, падающего на единичную площадь микрофона, как изотропной антенны,

в единичном частотном интервале. Если же используется антенна с эффективной площадью апертуры $A_{эф}$ и диаграммой направленности по мощности $F(\theta, \varphi)$ и падающее некогерентное излучение шумов с угловым спектральным распределением интенсивности $B(\theta, \varphi, f)$, то спектральная плотность шумов ($Вт/Гц$), принимаемых антенной, определяется как [12]

$$N(f)=A_{эф}\iint\limits_{4\pi} F(\theta, \varphi) B(\theta, \varphi, f)\, d\Omega, \tag{2}$$

где интеграл по всему угловому протяжению источников излучения представляет собой спектральную интенсивность $I_A(f)$, пересчитанную ко входу антенны, $A_{эф}=\lambda^2/\Omega_A$, λ — длина волны, $\Omega_A=\iint\limits_{4\pi} F(\theta, \varphi)\, d\Omega$ — телесный угол приема антенны. Для микрофонных антенных датчиков, которые можно считать изотропными антеннами, $F(\theta, \varphi)=1$, $A_{эф}=\lambda^2/4\pi$ и из формулы (2) спектральная плотность шумов, принимаемых микрофоном, получается как

$$N_м(f)=\frac{\lambda^2}{4\pi}\iint\limits_{4\pi} B(\theta, \varphi, f)\, d\Omega, \tag{3}$$

где интеграл представляет собой полученную выше $I(f)$. Таким образом, из формул (2), (3) следует, что спектральная интенсивность, пересчитанная ко входу антенны с произвольной диаграммой направленности, зависит от формы последней (т. е. от самой антенны) и по величине меньше, чем спектральная интенсивность, полученная для микрофонов. А поскольку априори неизвестна еще и $B(\theta, \varphi, f)$, то обобщить полученные для микрофонных датчиков результаты на произвольную антенну в общем случае не удается. Однако в предположении изотропности внешних шумов, т. е. при $B(\theta, \varphi, f)=B_0(f)$, это можно сделать, и из формул (2), (3) следует, что

$$N(f)=\lambda^2 B_0(f)=N_м(f). \tag{4}$$

Таким образом, в предположении изотропности излучения спектральная плотность шумов, принимаемых антенной, равна спектральной плотности шумов, принимаемых микрофоном, и определяется выражением

$$N(f)=N_1 f^{-b}\ Вт/Гц, \tag{5}$$

полученным из формул (1), (3), где $N_1=92\ I_1$ — спектральная плотность шумов, принимаемых антенной, на частоте в 1 *кГц*; $b=a+2$, а коэффициент перед I_1 представляет собой значение эффективной площади микрофона (как изотропной антенны) в *см*^{2} для частоты в 1 *кГц*. Конечно, в тех ситуациях, когда угловое распределение шумового излучения отличается от изотропного, параметр модели I_1 получается либо преуменьшенным, если излучение приходится на главный лепесток диаграммы направленности, либо преувеличенным, если это излучение приходится на боковые лепестки, значение же параметра $a(b)$ при этом остается неизменным, что очень важно для универсальности модели.

Сравнивая уровни внутреннего и внешних шумов, можно сказать, что даже для самого минимального уровня внешних шумов (кривая *1* на фиг. 1) на частоте 5 *кГц* их спектральная плотность будет равна $3\cdot10^{-18}$ *Вт/Гц* и при эффективности преобразования энергии 10% будет на 2 порядка больше, чем спектральная плотность внутреннего шума. Поэтому при исследовании работы акустических локаторов можно пренебрегать внутренним шумом и пользоваться моделью спектральной плотности внешних шумов (*5*), определяя параметры на фиг. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литтл К. Г.* Акустические методы дистанционного зондирования нижней атмосферы. ТИИЭР, 1969, *57*, 4, 222–230.
2. *Красненко Н. П., Одинцов С. Л.* Внешние шумы при акустическом зондировании атмосферы. В сб.: IV Всесоюзный симп. по лазерному зондированию атмосферы. Тезисы докл., Томск, Ин-т оптики атмосферы СО АН СССР, 1976, 229–231.
3. *Hall F. F., Wescott J. W., Simmons W. R.* Acoustic echo sounding of atmosphere thermal and wind structure. Proc. Seventh Int. Symp. on Remote Sensing of the Environment, Univ. of Michigan, 1971, *1*, 1715–1732.
4. *Berendt R. D., Winzer G. E., Burroughs C. B.* A guide to airborne, impact and structure borne noise – control in the multifamily dwelling. US Dept. Housing and Urban Dev., Wash. D. C., 1967, Sept., C5–C12.
5. *Ostergaard P. B., Donley R.* Background noise levels in suburban communities. J. Acoust. Soc. America, 1964, *36*, 3, 409–413.
6. *Bonvallet G. L.* Levels and spectra of traffic, industrial and residential area noise. J. Acoust. Soc. America, 1951, *23*, 3, 435–439.
7. *Bateman W. F., Ackerman E.* Some observations on small-town noise. Noise Control, 1955, *1*, 6, 40–61.
8. *Славин И. И.* Производственный шум и борьба с ним. М., Профиздат, 1955.
9. Борьба с шумом. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Стройиздат, 1964.
10. *Lamure C., Auzou S.* Les niveaux de bruit an voisinage des autoroutes digagies. Cahiers du CSTB, 1964, *71*, 599.
11. Градостроительные меры борьбы с шумом. М., Стройиздат, 1975.
12. Сканирующие антенные системы СВЧ, Пер. с англ. под ред. Г. Т. Маркова, А. Ф. Чаплина. М., «Советское радио», 1966, *1*.

Институт оптики атмосферы
СО Академии наук СССР

Поступила
16 июня 1978 г.
После переработки
2 января 1979 г.