

В. А. КРАСИЛЬНИКОВ и К. М. ИВАНОВ-ШИЦ

## НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ОПЫТЫ ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ЗВУКА В АТМОСФЕРЕ

(Представлено академиком Б. А. Введенским 4 VI 1949)

Согласно теории флуктуаций фазы и амплитуды звуковой волны при ее распространении в турбулентной атмосфере (<sup>1, 2</sup>), среднее квадратичное для изменчивости фазы  $\sigma \Delta_t \varphi$  за промежуток времени  $\Delta t$ , за который эта изменчивость подсчитывается, должно расти с расстоянием  $L$  между излучателем и приемником как  $L^{1/2}$ , а среднее квадратичное пульсаций логарифма амплитуды сигнала  $\sigma \ln A$  как  $L^{3/2}$  \*.

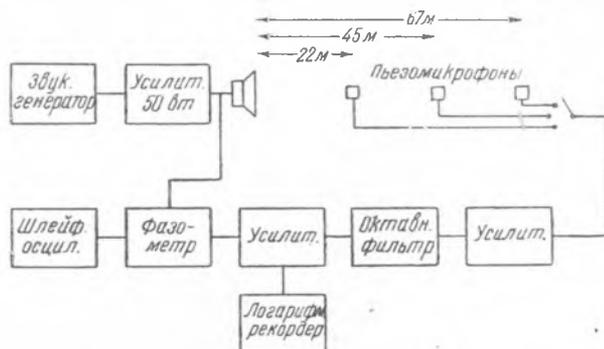


Рис. 1. Общая схема установки

Задачей опытов являлось выяснение характера зависимости  $\sigma \Delta_t \varphi$  и  $\sigma \ln A$  от  $L$ . Кроме того, располагая более совершенной аппаратурой, мы ставили своей задачей также проверить некоторые результаты опытов, проводившихся одним из авторов этой статьи в 1941 г. (<sup>3</sup>).

Измерения производились в июле — августе 1948 г. под Москвой. На рис. 1 изображена блок-схема установки; напряжение с звукового генератора подавалось на 50-ваттный усилитель, который раскачивал репродуктор. На расстояниях, соответственно, 22, 45 и 67 м были установлены пьезо-микрофоны. Как репродуктор, так и микрофоны (с противветровой защитой) находились на одной линии и подвешивались на мачтах высотой 8 м. С микрофонного усилителя напряже-

\* Следует отметить при этом, что как для флуктуации фазы, так и для флуктуации амплитуды звука зависимость от расстояния, получающаяся теоретически, не связана с тем законом корреляции для пульсаций поля скоростей (или температуры), который может быть положен в основу теоретического расчета.

ние подавалось с одной стороны на логарифмический рекордер Неймана, который записывал уровень сигнала и с другой стороны — на одно из двух плеч пишущего фазометра. Для уменьшения влияния помех применялся октавный фильтр. На другое плечо фазометра подавалось напряжение с звукового генератора. Фазометр на выходе давал ток, величина которого была пропорциональна разности фаз колебаний, подаваемых на его входы. Выход фазометра подавался на киноплочный шлейфовый осциллограф, на котором и производилась запись флукуаций фазы. Фазометр позволял регистрировать изменения фазы с точностью 2—3°, причем его показания были однозначными при изменении фазы в любых пределах и не зависели от амплитуды входного сигнала, которая при сильном ветре значительно менялась.

Запись флукуаций фазы и амплитуды сигнала производилась в течение 10—15 сек. с каждого из трех микрофонов, которые последовательно подключались к усилителю.

Угол раствора характеристики направленности репродуктора на применявшихся частотах 3000 и 5000 гц составлял 30—40°, так что даже при направлении ветра, перпендикулярном линии репродуктор — микрофон (*PM*), при тех скоростях ветра, какие были при измерениях (4—6 м/сек.), влиянием сноса характеристики можно было пренебречь. Возможные отражения звука от поверхности земли также не играли роли, поскольку подстилающая поверхность была покрыта растительностью. То, что такие отражения не влияли на измерения, специально проверялось.

Полученные записи флукуаций фазы и амплитуды звука были статистически обработаны; результаты обработки приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты обработки измерений флукуаций фазы  
(частота звука 3000 гц)

Скорость ветра в м/сек.	Направ- ление ветра	$\Delta t$ в сек.	Расстояние от излучателя						Дата
			22 м		45 м		67 м		
			$\sigma \Delta f \varphi$ в°	вес*	$\sigma \Delta f \varphi$ в°	вес	$\sigma \Delta f \varphi$ в°	вес	
5	⊥ <i>PM</i>	0,04	8	1	11	1	16	1,7	10 VIII 1948
		0,08	13	2	17	2,2	24	3,2	То же
		0,2	26	2	36	2,2	46	3,2	»
6	<i>PM</i>	0,06	19	1,5	22	2	35	1,8	9 VIII 1948
		0,2	43	1,5	51	2	62	1,8	То же

\* Вес 1 соответствует времени записи 20 сек.

В табл. 1 даны значения для среднего квадратичного изменчивости фазы  $\sigma \Delta f \varphi$  за разные промежутки времени и для различных расстояний микрофона от излучателя.

Для среднего квадратичного пульсаций логарифма уровня сигнала  $\sigma \ln A$  результаты обработки сведены в табл. 2.

Зависимость  $\sigma \Delta f \varphi$  от расстояния  $L$  между излучателем и приемником дана в логарифмическом масштабе на рис. 2. Данные измерений 10 VIII на частоте 3000 гц и при направлении ветра, перпендикулярном линии *PM* ( $v = 5$  м/сек.), приведены к одному масштабу; за начальные значения приняты величины  $\sigma \Delta f \varphi$ , относящиеся к расстоянию

$L = 22$  м. Прямая  $L^{1/2}$  проведена через экспериментальную точку, соответствующую этому расстоянию, и через точку, соответствующую  $L$ , равному нулю, при котором, естественно, также равно нулю  $\sigma\Delta_t\varphi$ . Из рис. 2 видно, что теоретическая зависимость, согласно которой  $\sigma\Delta_t\varphi \sim L^{1/2}$ , достаточно удовлетворительно согласуется с данными опыта.

Таблица 2

Результаты обработки измерений флуктуаций амплитуды

Частота в гц	Скорость ветра в м/сек.	Направ- ление ветра	Расстояние от излучателя						Дата
			22 м		45 м		67 м		
			$\sigma \ln A$	вес*	$\sigma \ln A$	вес	$\sigma \ln A$	вес	
5000	4	PM	0,28	1	0,56	1	0,63	1	1 VIII
5000	5	⊥ PM	0,20	1,4	0,34	1,4	0,46	1,4	31 VII
3000	5	⊥ PM	0,17	4	0,30	4	0,39	4	31 VII
3000	6	⊥ PM	0,21	6	0,36	5	0,44	5,5	10 VIII
3000	6	PM	0,15	1,7	0,28	1,4	0,49	1,3	9 VIII

\* Вес 1 соответствует 70 обработанным точкам через 1/10 сек.

Характер зависимости флуктуаций уровня сигнала от расстояния между излучателем и приемником представлен на рис. 3. Данные

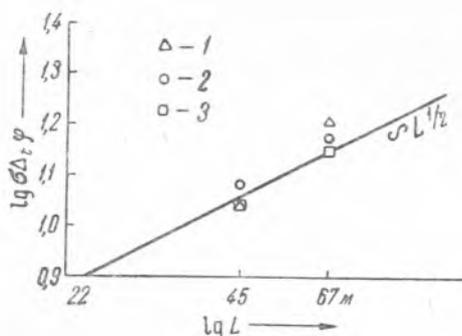


Рис. 2. Зависимость  $\sigma\Delta_t\varphi$  от  $L$  в логарифмическом масштабе. Измерения 10 VIII 1948 г. Частота 3000 гц, скорость ветра 5 м/сек., направление ветра  $\perp PM$ . 1 —  $\Delta t = 0,04$  сек., 2 —  $\Delta t = 0,08$  сек., 3 —  $\Delta t = 0,2$  сек.

табл. 2 здесь также приведены к расстоянию 22 м. Положение экспериментальных точек относительно кривых  $L^{1/2}$ ,  $L$ ,  $L^{3/2}$ , представляющих соответствующие зависимости  $\sigma \ln A$  от  $L$ , дают представление о характере поведения  $\sigma \ln A$  при изменении расстояния. Мы видим, что при увеличении расстояния от 22 до 45 м эта зависимость примерно линейна; при дальнейшем же увеличении расстояния возрастание  $\sigma \ln A$  становится медленнее, чем возрастание  $L$ . Таким образом, теоретическая зависимость  $\sigma \ln A$  от расстояния как  $L^{3/2}$ , по крайней мере при тех условиях опыта, какие у нас были, не оправдывается на опыте. Повидимому, это несогласие с теорией можно объяснить тем, что в этой теории существенным является предположение о малости изменений кривизны фронта волны, вызванных пульсациями поля скорости. В наших же условиях это не соблюдается, поскольку при измерениях флуктуации уровня сигнала были довольно велики.

Судя по характеру расположения экспериментальных точек, можно ожидать, что при малых расстояниях зависимость  $\sigma \ln A$  от  $L$  будет ближе к теоретической.

Используя данные измерений флуктуаций фазы, относящиеся к случаю направления ветра  $\perp PM$  (см. табл. 1), по теоретической формуле для  $\sigma \Delta_i \varphi$  (1) мы подсчитали среднее значение для характеристики турбулентности  $C$  в законе „2/3“ Колмогорова — Обухова. Это зна-

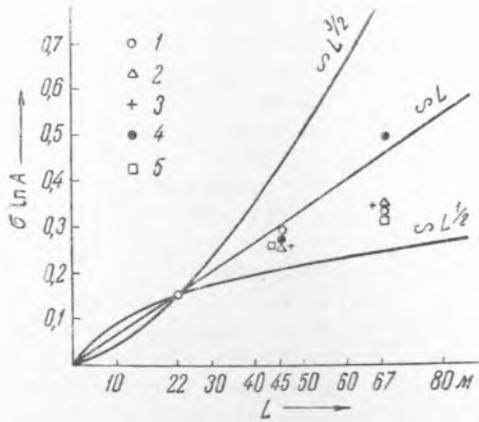


Рис. 3. Зависимость  $\sigma \ln A$  от  $L$ . 1—измерения 1 VIII, частота  $\nu = 5000$  гц; 2—31 VII,  $\nu = 5000$  гц; 3—31 VII,  $\nu = 3000$  гц; 4—9 VIII,  $\nu = 3000$  гц; 5—10 VIII,  $\nu = 3000$  гц

чение\* оказалось равным  $7,8 \text{ см}^{2/3} \text{ сек.}^{-1}$ . Полученная величина меньше той, которая была найдена в результате опытов 1941 г. ( $C = 10,9$ ), и более близка к значению для  $C$ , полученному другими авторами.

Научно-исследовательский институт физики  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
28 V 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. А. Красильников, ДАН, 47, 486 (1945). <sup>2</sup> В. А. Красильников, ДАН, 58, 1353 (1947). <sup>3</sup> В. А. Красильников, ДАН, 46, 168 (1945).  
<sup>4</sup> А. М. Обухов, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 13, № 1 (1949).

\* Это значение близко к 3. Вообще говоря, имеет смысл говорить лишь о порядке величины для  $C$ , поскольку она зависит от средней скорости ветра, высоты точек наблюдения над поверхностью земли и степени шероховатости этой поверхности. Заметим, что значение для  $C$ , измеренное акустическим методом, должно быть несколько завышено, поскольку на флуктуации фазы звуковой волны влияют не только пульсации поля скоростей, но также и температурные неоднородности, переносимые потоком. На основании теории А. М. Обухова по структуре температурного поля пульсаций (4) легко оценить, что влияние температурных неоднородностей может быть, вообще говоря, того же порядка, что и влияние пульсаций поля скоростей.