ми изолированных точечных источников. Из выражения (6) следует, что при этом коэффициент осевой концентрации становится периодической функцией линейного размера d: $\gamma = 8\ (\cos kd/2)^2$. При устремлении размеров группы к нулю получаем ненаправленный источник, коэффициент концентрации которого равен единице.

Суммарное сопротивление излучения знакопеременной группы будет равно

$$r_\Sigma = 8r_0\left(1 + \frac{\sin kd}{kd} - \frac{\sin \sqrt{2}\,kd}{\sqrt{2}\,kd} - \frac{\sin \sqrt{3}\,kd}{\sqrt{3}\,kd}\right).$$

Коэффициент усиления знакопеременной кубической группы относительно оси перпендикулярной противофазным граням будет $K = 8 \sin kd/2$. Наконец, коэффициент осевой концентрации знакопеременной кубической группы равен

$$\gamma = \frac{8\left(\sin \frac{kd}{2}\right)^2}{1 + \frac{\sin kd}{kd} - \frac{\sin \sqrt{2}\,kd}{\sqrt{2}\,kd} - \frac{\sin \sqrt{3}\,kd}{\sqrt{3}\,kd}}. \tag{7}$$

Зависимость сопротивления излучения и коэффициента осевой концентрации знакопеременной кубической группы от линейного размера группы представлена на фигуре. Величина суммарного сопротивления излучения имеет предел и уже при $kd = 10$ мало отличается от $8\ r_0$. Кривая коэффициента осевой концентрации начинается со значения 3, так как при уменьшении размеров группы до нуля группа обращается в диполь. Это же значение получаем и непосредственно из выражения (7) после раскрытия неопределенности вида 0/0. Максимальный коэффициент осевой концентрации знакопеременной кубической группы, состоящей из восьми точечных источников, наблюдается при $d = 1{,}5\ \lambda$ и равен $\gamma_{max} = 8{,}3$.

В заключение автор выражает благодарность М. И. Карновскому, указавшему на возможность использования метода наведенных давлений для решения подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Карновский. Взаимные акустические импеданцы сферических излучателей и резонаторов. Докл. АН СССР, 1941, 32, 1, 40—43.
2. М. И. Карновский. К расчету взаимных акустических импеданцев. Сб. тр. Киевского ин-та киноинженеров, 1948, 1, 95—113.

Киевский институт гражданского воздушного флота

Поступило в редакцию 8 марта 1960 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ НА ЗАТУХАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

И. С. Быков, Ю. Г. Шнейдер

В связи с широким применением поверхностных волн в поверхностной дефектоскопии и в некоторых конструкциях ультразвуковых линий задержки вопрос о влиянии качества поверхности звукопровода на затухание поверхностных волн имеет существенное значение. Известно, что под качеством поверхности понимается совокупность следующих основных параметров: точность формы, волнистость, шероховатость поверхности, направление обработочных штрихов, степень и глубина наклепа и другое. Поверхностные дефекты в виде рисок, царапин, острых кромок, выемок, а также поверхностные шероховатости (величина шероховатостей предполагается малой по сравнению с длиной волны) являются источниками отражения поверхностных волн и преобразования их в объемные, распространяющиеся в глубь материала звукопровода [1]. Это приводит к увеличению коэффициента затухания.

Расчет коэффициента затухания, в зависимости только лишь от шероховатости поверхности (с известным пространственным периодом) без учета влияния остальных параметров качества поверхности звукопровода, дается в первом приближении в работе [2]. Решение этой задачи в применении к реальной поверхности весьма сложно и требует накопления большого числа экспериментальных данных.

В настоящей заметке приводятся результаты экспериментального исследования влияния качества поверхности звукопровода и способа ее обработки на затухание поверхностных волн. Испытания производились на образцах прямоугольного сечения, вырезанных из листового материала (сплав МА-8) в направлении проката. Размеры образцов составляли $450 \times 40 \times 20$ *мм*. Образцы подвергались обработке следующими методами: строганием, цилиндрическим и торцевым фрезерованием, полированием

абразивными порошками и пастами и химическим полированием. Условия обработки были следующими: строгание на поперечно-строгальном станке быстрорежущими резцами марки Р-18 (передний угол $\gamma = 16°$, задний угол $\alpha = 10°$; главный угол в плане $\varphi = 40°$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 25°$); цилиндрическое фрезерование на горизонтально-фрезерном станке цилиндрической фрезой с винтовым зубом из стали марки Р-18 (число зубьев фрезы $Z = 18$, $\gamma = 8°$, $\alpha = 6°$, угол подъема зуба $\omega = 15°$); торцевое фрезерование торцевой фрезой из стали марки Р-18 ($Z = 18$, $\gamma = 8°$, $\alpha = 6°$, $\omega = 15°$); полирование после строгания и шабрения абразивными порошками и пастами различной зернистости, наносимыми на мягкие и жесткие притиры; химическое полирование в растворе 5% H_2SO_4 + 1% щавельной кислоты.

Измерение затухания производилось импульсным методом [3]. Излучающий и приемный преобразователи имели полистироловый клин с постоянным углом $\theta = 55°30'$ и кварцевую пластину X-среза, размерами 10 × 15 *мм*. Ширина полистиролового клина равнялась ширине пьезокристалла (15 *мм*).

Акустический контакт между поверхностью клина и поверхностью образца осуществлялся через тонкую пленку трансформаторного масла. С целью исключения влияния толщины пленки и получения более достоверных данных, измерения на каждом образце повторялись многократно (10 ÷ 15 раз) с вычислением среднего результата. Общая погрешность измерения не превышала 5%.

Результаты измерения относительного коэффициента затухания поверхностных волн в зависимости от шероховатости поверхности образцов при различных способах ее обработки и от направления излучения звука, приведены в таблице 1. Направление излучения звука изменялось на 180°. При вычислении значений коэффициента затухания влияние расхождения звукового луча не учитывалось. Следует отметить, что при сравнительной оценке затухания для образцов с различным качеством поверхности, при прочих равных условиях (рабочая частота, ширина клина и пьезокристалла, длина образца), влияние расхождения звукового луча исключается.

Таблица 1

№ образцов	Метод обработки	Режим обработки			Шероховатость поверхностей*		Относительная величина коэффициента затухания	
		Скорость резания (*м/мин*)	Подача (*мм/об*)	Глубина резания (*мм*)	Продольная (μ)	Поперечная (μ)	2,5 *мггц*	10 *мггц*
1	Строгание на поперечно-строгальном станке	29	0,3	0,5	1,21	12,79	1	1 (0,82**)
2	Встречное фрезерование				5,37	5,37		0,5 (0,53)
3	Попутное фрезерование				4,51	4,51	0,57	0,6 (0,6)
4	Торцевое фрезерование	38		0,8	4,29	4,29		0,67 (0,53)
5	Притирка и полирование	направленный штрих			1,2			0,35
		путанный штрих			1,5	1,5	0,43	0,5

* Измерение шероховатости поверхности ($H_{ср}$) проводилось на двойном микроскопе МИС-11.

** В скобках приведены значения относительной величины коэффициента затухания при изменении направления излучения звука на 180°.

Рассмотрение данных, приведенных в табл. 1, показывает, что затухание зависит от способа обработки поверхности звукопровода. У образцов, обработанных встречным фрезерованием (табл. 1, образец 2), коэффициент затухания меньше коэффициента затухания у образцов, обработанных попутным (в направлении подачи) фрезерованием (табл. 1, образец 3). Незначительный наклеп поверхностного слоя звукопровода при обработке встречным фрезерованием, приводит к уменьшению затухания, которое вызывается в основном ориентацией структурных элементов материала звукопровода. Далее, затухание зависит от направления распространения звукового луча по отношению к направлению обработочных штрихов. Наибольшее различие (порядка 15—20%) в величинах коэффициента затухания при изменении направления распространения звукового луча (на 180°) наблюдалось у образцов, обработанных строганием и торцевым фрезерованием.

Нами были проведены также предварительные исследования по определению величины коэффициента затухания на образцах, подвергнутых химическому полирова-

Таблица 2

№ образцов	Метод обработки и шероховатость поверхности	Коэффициент затухания до химического полирования *дб/см*	Режимы химического полирования (выдержка в растворе 5% H_2SO_4 + 1% щавелевой кислоты в *мин*)	Шероховатость поверхности после химического полирования	Коэффициент затухания после химического полирования *дб/см*	Примечание (рабочая частота *мггц*)
1	Накатка шариком ▽8в	0,18	1 *мин* 45 *сек*	▽8а	0,46	10
2	Накатка шариком ▽10а	0,36	45 *мин*	▽9в	0,53	10
3	Притирка и полирование (направленный штрих) ▽9в	0,10	2,5 *мин*	▽9в	0,25	10
4	Притирка и полирование (путанный штрих) ▽9а	0,12	2 *мин*	▽9а	0,19	10

нию (табл. 2). Эти эксперименты показали, что коэффициент затухания существенно зависит от наличия поверхностных пленок, образующихся на поверхности звукопровода, подвергнутой химическому полированию и от режимов химического полирования. Данный вывод совпадает с результатами, приведенными в работе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Викторов. О влиянии несовершенств поверхности на распространение рэлеевских волн. Докл. АН СССР, 1958, 199, 3, 463—466.
2. Л. М. Бреховских. О распространении поверхностных рэлеевских волн вдоль неровной границы упругого тела. Акуст. ж., 1959, 5, 3, 282—289.
3. К. Н. Виноградов, Г. К. Ульянов. Измерение скорости и затухания поверхностных волн в твердых материалах. Акуст. ж., 1959, 5, 3, 291—293.

Ленинградский институт авиационного приборостроения

Поступило в редакцию 15 февраля 1960 г.

ОБ УЧЕТЕ ЗАВИХРЕННОСТИ ПОЛЯ ВЕТРА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В АТМОСФЕРЕ

М. А. Каллистратова, В. И. Татарский

В работах [1, 2] для расчета рассеяния звука на турбулентных пульсациях скорости ветра и температуры в атмосфере использовалось уравнение акустики неоднородной движущейся среды:

$$\Delta\varphi - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = \frac{2\mathbf{v}'}{c^2}\nabla\frac{\partial\varphi}{\partial t}, \tag{1}$$

где φ — потенциал акустической скорости, c — скорость звука, $\mathbf{v}'$ — пульсационная скорость ветра. Вывод уравнения (1) дан в работе [3], где кроме обычных предположений о малости акустических скоростей, давления плотности и энтропии по сравнению со скоростью звука и соответствующими величинами для среды предполагалось, что $\Omega = \frac{\partial \ln v'}{\partial t} \ll \omega$, $v \ll c$, а также, что $\operatorname{rot}\mathbf{v}' = 0$.

В работе [2], исходя из уравнения (1), получено следующее выражение для эффективного поперечника рассеяния из единичного объема на угол θ в телесный угол $d\Omega$:

$$d\sigma(\theta) = 2\pi k^4\left[\frac{1}{c^2}E\left(2k\sin\frac{\theta}{2}\right)\cos^2\frac{\theta}{2} + \frac{1}{4T^2}\Phi_T\left(2k\sin\frac{\theta}{2}\right)\right]d\Omega, \tag{2}$$

где $k = 2\pi/\lambda$, $E(\varkappa)$ и $\Phi_T(\varkappa)$ — трехмерные спектральные плотности флюктуаций скорости ветра и температуры, T — средняя температура. Крейчнану [4] удалось решить задачу о рассеянии звука на пульсациях скорости ветра, не вводя звукового потенциала и существенного ограничения $\operatorname{rot} v' = 0$, сделанного в работах [1, 2].