

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Ланин. Звукоизоляция в широких трубах. Акуст. ж., 1976, 22, 3, 400—405.
2. D. D. Davis, G. M. Stokes, D. Moore, G. L. Stevens, Theoretical and experimental investigation of mufflers with comments on engine-exhaust muffler design. NaCA Rep., 1954, 1192.
3. Е. Я. Юдин. Исследование шума вентиляторных установок и методов борьбы с ним. Тр. ЦАГИ, вып. 713. М., Оборонгиз, 1958.
4. М. А. Исакович, В. И. Кашина, В. В. Тютюкин. Применение систем резонаторов для звукоизоляции нормальной волны нулевого порядка в трубах и других длинных линиях. В сб.: Морское приборостроение. Акустика, 1972, 1, 117—125.
5. М. А. Исакович. Теория волноводной изоляции в длинных линиях. В сб. VI Всес. симпоз. по дифракции и распространению волн, кн. 2. Ереван, 1973, 105—108.

Акустический институт  
Академии наук СССР

Поступила  
1 марта 1976 г.

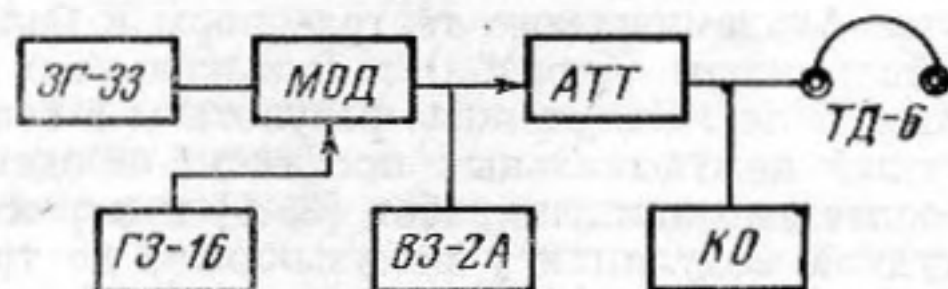
УДК 612.86:612.789:781.1

### ОСОБЕННОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЗВУКА ЛЮДЬМИ С ПРОФЕССИОНАЛЬНО МУЗЫКАЛЬНО-ТРЕНИРОВАННЫМ СЛУХОМ

*В. П. Морозов, Т. В. Черниговская*

Известно, что пороги восприятия амплитудной модуляции (АМ) звука у человека зависят от частоты модуляции. В диапазоне частот модуляции 0,1—100 гц наблюдается избирательно-повышенная чувствительность слухового анализатора человека к частотам модуляции 3—5 гц, практически не зависящая от частоты несущей [1—4]. В этой области (3—5 гц) слух тренированных испытуемых обнаруживает амплитудную модуляцию глубиной 0,8—0,4 дб. По мере уменьшения или увеличения частоты модуляции пороги ее обнаружения слухом человека повышаются.

Авторами настоящей работы была высказана гипотеза [3—5] об обусловленности данного феномена высокой тренированностью слуха человека к восприятию речи как наиболее важного для человека звукового сигнала. В пользу гипотезы говорят

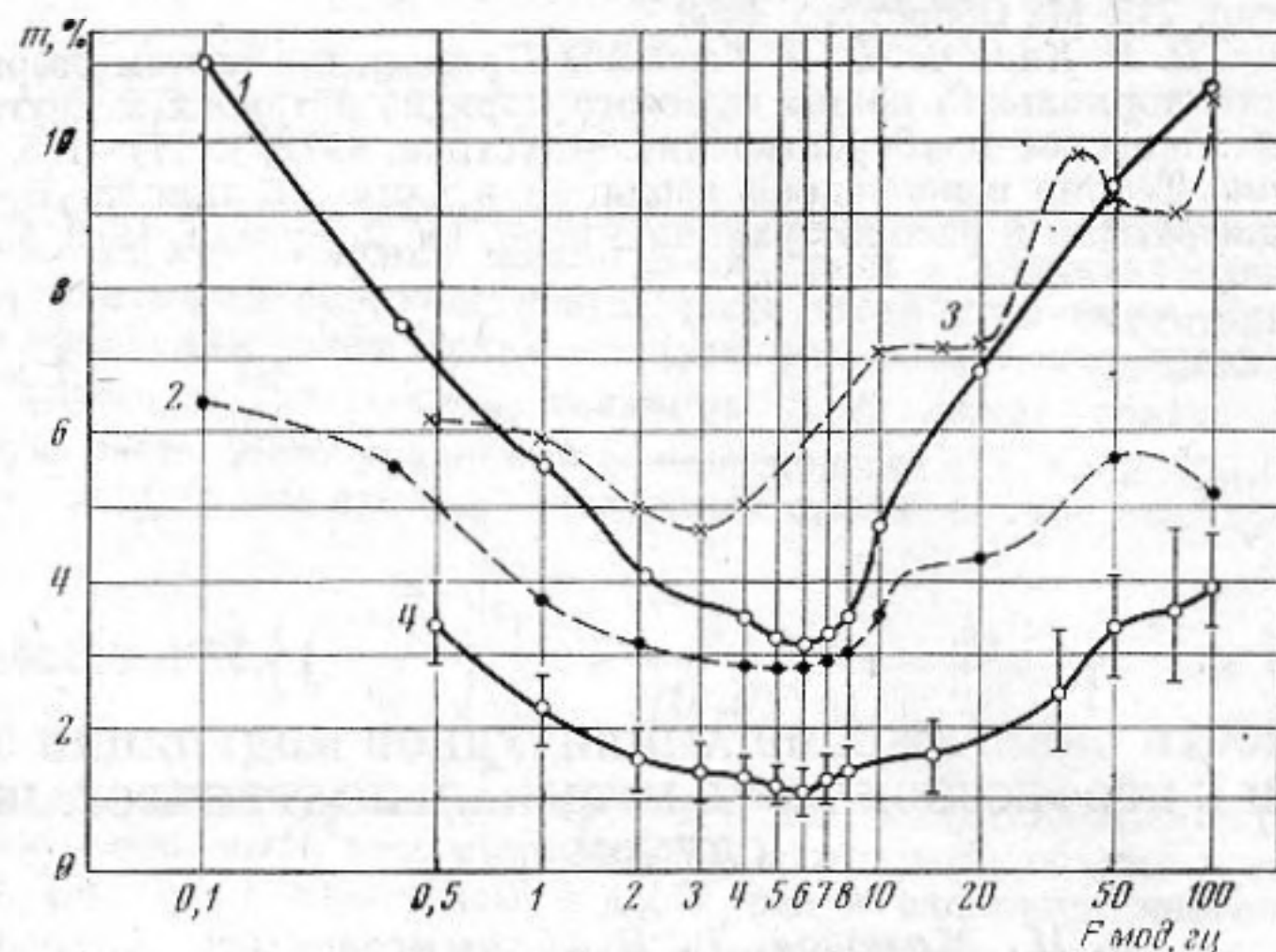


Фиг. 1. Блок-схема опытной установки ЗГ-33 — звуковой генератор, МОД — модулятор, ГЗ-16 — генератор модулирующей частоты, ВЗ-2А — ламповый вольтметр, АТТ — аттенюатор, ТД-6 — головные телефоны испытуемого, КО — контрольный осциллограф

такие экспериментальные факты: а) наличие в речевом сигнале ярко выраженной амплитудной модуляции с наиболее вероятной частотой 4—6 гц, обусловленной работой органов слоговой артикуляции; б) незначительное снижение порогов обнаружения амплитудной модуляции при тренировке операторов на частотах 4—6 гц и значительное уменьшение порогов на крайних частотах, приводящее к уплощению кривой избирательности к частоте модуляции; в) недавно экспериментально обнаруженный Т. В. Черниговской факт отсутствия избирательности к восприятию амплитудной модуляции у людей, практически не слышащих речи, но обладающих остатками слуха, позволяющими воспринять амплитудную модуляцию при достаточном усилении звука [5].

В свете высказанной гипотезы можно было предполагать, что у людей музыкальных профессий, чья трудовая деятельность связана с тонким слуховым анализом частотно-временных и динамических оттенков звука, и, следовательно, обладающих высокой профессиональной тренированностью слуха, обнаружатся определенные особенности восприятия амплитудной модуляции звука. Изучение этого вопроса представляет также общий интерес с точки зрения определения предельных возможностей слухового анализатора человека.

Блок-схема опытной установки приведена на фиг. 1. Испытуемому предъявлялся тональный сигнал частотой 1000 гц, интенсивностью 75 дб. Глубина модуляции сигнала постепенно увеличивалась от 0 до явно заметной величины. Задача испытуемого состояла в обнаружении начала появления амплитудной модуляции. Исследования производились на частотах модуляции от 0,5 до 100 гц. Способ измерения малых значений глубины модуляции описан в работе [3].



Фиг. 2. Зависимость порогов обнаружения АМ звука от частоты модуляции для разных категорий испытуемых. По оси ординат — глубина модуляции ( $m$ , %), по оси абсцисс — частота модуляции в гц. Обозначения кривых: 1 — нетренированные испытуемые, немусыканты; 2 — они же после тренировки; 3 — пороги обнаружения амплитудной модуляции шума немусыкантами по данным работы [2]; 4 — пороги обнаружения амплитудной модуляции тона музыкантами (вертикальными отрезками обозначены доверительные интервалы, соответствующие доверительной вероятности 0,95)

В опытах участвовало 11 испытуемых из числа солистов струнного и духового оркестров Ленинградского Академического театра оперы и балета им. С. М. Кирова (9 человек), одного солиста оперы (баритон) и музыкального мастера (настройщик роялей) со стажем работы 30 лет. Полученные результаты в сопоставлении с результатами исследования людей немусыкальных профессий представлены на фиг. 2.

Кривые 1 и 2 приводятся по данным работ [3, 4] и характеризуют способность к обнаружению амплитудной модуляции у немусыкантов до тренировки (кривая 1) и после тренировки (кривая 2). Кривая 3 заимствована из работы [2] и характеризует пороги восприятия человеком амплитудной модуляции белого шума. Кривая 4 построена по результатам настоящей работы. Можно видеть, что пороги обнаружения амплитудной модуляции музыкантами лежат значительно ниже пороговых кривых немусыкантов на всех частотах модуляции. Минимум порогов все же обнаруживается на частотах 4—8 гц. В этой области слух музыкантов способен обнаружить модуляцию с коэффициентом  $m\%$  всего лишь 1%, что соответствует 0,2 дб, и даже 0,5% (т. е. 0,1 дб).

Столь высокую чувствительность слуха людей музыкальных профессий к восприятию амплитудной модуляции звука можно объяснить постоянной длительной тренировкой в условиях профессиональной деятельности. Известно, что в музыке широко применяются различные формы амплитудно-частотной модуляции звукового сигнала с различной частотой модуляции: трель, вибрато, тремоло (4—8 гц), фрулято (13—17 гц), глиссандо, крещендо, деминуэндо (0,2—2,0 гц) и т. п. Преобладающими тем не менее оказываются частоты модуляции, близкие к таковым для речевого сигнала, т. е. 4—6 гц, что, по-видимому, и находит свое отражение в форме полученной нами пороговой кривой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Цвиккер, Р. Фельдкеллер. Ухо как приемник информации. М., «Связь», 1971.
2. Н. А. Дубровский, Л. Н. Тумаркина. Исследование восприятия человеком амплитудно-модулированных шумов. Акуст. ж., 1967, 18, 1, 5—59.
3. В. П. Морозов, Т. В. Черниговская. Об избирательной чувствительности слуха человека к амплитудной модуляции речи. Ж. эвол. биохим. и физиол., 1975, 11, 5, 468—473.

4. Т. В. Черниговская, В. П. Морозов. Связь порогов слуха человека к амплитудно-модулированному звуку и амплитудно-модуляционных характеристик речи. Биофизика, 1974, 19, 6, 1104-1106.
5. Т. В. Черниговская, А. С. Розенблюм. Влияние процесса научения на восприятие амплитудно-модулированных звуков. Физиология человека, 1976, 1, 5, 825-829.

Институт эволюционной физиологии  
и биохимии им. И. М. Сеченова  
Академии наук СССР

Поступила  
4 августа 1975 г.  
После повторного исправления  
6 июля 1976 г.

УДК 534-16

## О ВОЛНАХ ЛЯВА НА ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА, ПОКРЫТОГО СЛОЕМ

Н. С. Шевяков

Ляв показал [1], что на плоской границе твердого тела, покрытого слоем инородного материала, могут существовать сдвиговые поверхностные волны со смещениями частиц вдоль границы. В работе [2] указывалось, что такого же типа поверхностные волны должны существовать и на искривленных границах твердых тел, покрытых инородными пленками. До сих пор, однако, этот вопрос остается неизученным. Поэтому ниже предпринята попытка доказательства существования волн типа Лява на поверхности твердого цилиндра со слоем.

Пусть  $R_1$ ,  $R_2$  — радиус цилиндра и внешний радиус слоя, материалы которых имеют соответственно модули сдвига  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и плотности  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ . Допустим также, что ось цилиндра совпадает с осью  $z$  цилиндрической системы координат  $(r, \theta, z)$  и что при распространении волн в направлении сдвига:  $u_r = u_\theta = 0$ ,  $u_z = u_z(r, \theta) e^{-i\omega t}$ , где  $t$  — время,  $\omega$  — частота,  $r$  — расстояние от оси цилиндра. В этом случае из уравнений теории упругости [1] следует, что смещения  $u_z^{(v)}$  в цилиндре ( $r < R_1$ ,  $v=1$ ) и в слое ( $R_1 < r < R_2$ ,  $v=2$ ) удовлетворяют уравнениям Гельмгольца, и в соответствии с принципом погашаемости и требованием ограниченности имеют вид

$$(1) \quad \begin{aligned} u_z^{(1)} &= C_1 J_p(k_t^{(1)} r) e^{ip\theta}, \quad r < R_1, \\ u_z^{(2)} &= [C_2 J_p(k_t^{(2)} r) + C_3 N_p(k_t^{(2)} r)] e^{ip\theta}, \quad R_1 < r < R_2, \end{aligned}$$

где  $k_t^{(v)} = (\rho_v \omega^2 / \mu_v)^{1/2}$  — волновое число для сдвиговых волн,  $J_p(k_t^{(v)} r)$  и  $N_p(k_t^{(2)} r)$  — функция Бесселя и Неймана порядка  $p$ .

Решение (1) удовлетворяет также граничным условиям

$$(2) \quad \begin{cases} u_z^{(1)} = u_z^{(2)}, \quad \mu_1 \frac{\partial u_z^{(1)}}{\partial r} = \mu_2 \frac{\partial u_z^{(2)}}{\partial r}, & \text{при } r=R_1, \\ \frac{\partial u_z^{(2)}}{\partial r} = 0, & \text{при } r=R_2 \end{cases}$$

и изучается в интервале  $-\infty < \theta < +\infty$ . Поскольку при этом ось  $r=0$  — линия ветвления бесконечного порядка, число  $p$  можно считать произвольной положительной величиной (см. [2]).

Подставим выражение (1) в формулу (2) и приравняем нулю определитель системы однородных алгебраических уравнений. В результате получим соотношение

$$(3) \quad a \frac{J_p'(\xi_1)}{J_p(\xi_1)} = \frac{J_p'(\xi_2) N_p'(\xi_2 + \Delta \xi_2) - J_p'(\xi_2 + \Delta \xi_2) N_p'(\xi_2)}{J_p(\xi_2) N_p'(\xi_2 + \Delta \xi_2) - N_p(\xi_2) J_p'(\xi_2 + \Delta \xi_2)},$$

где  $a = \mu_1 k_t^{(1)} / \mu_2 k_t^{(2)}$ ;  $\xi_v = k_t^{(v)} R_1$ ;  $\Delta \xi_2 = h k_t^{(2)}$ ;  $h = R_2 - R_1$  — толщина слоя;  $J_p'(x) = dJ_p(x)/dx$ ,  $N_p'(x) = dN_p(x)/dx$  соответственно для  $x = \xi_v$ ,  $\xi_2 + \Delta \xi_2$  при  $v=1, 2$ . Уравнение (3) выражает связь между  $p$  и величинами  $a$ ,  $\xi_v$ ,  $\Delta \xi_2$  и представляет собой дисперсионное уравнение для сдвиговых волн в цилиндре со слоем. Присутствие неэлементарных функций затрудняет аналитическое исследование этого уравнения. Поэтому ограничимся анализом частного случая  $\Delta \xi_2 < 1$  (слой малой толщины).