

С. Я. ЛИФШИЦ

## СЕЛЕКТИВНОЕ УСИЛЕНИЕ СЛЫШИМОСТИ ЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 9 IV 1947)

Нами было показано (4), что слуховое восприятие наступает не сразу после начала звукового импульса, а лишь после восьмого разряда в нервном волокне. Отсюда вытекает, что требуется некоторое время на подготовительное возбуждение нервного волокна, прежде чем наступит слуховое восприятие. С другой стороны, весь ход рассуждений в указанной работе предполагает, что каждое нервное волокно возбуждается только одним, ему соответствующим числом колебаний.

На этом основании можно было предполагать, что слуховое восприятие наступает скорее и при более слабом импульсе, если одновременно со звуковым импульсом возбуждать ухо постоянным тоном той же частоты, что и тон самого импульса. Непосредственные опыты подтвердили такое ожидание и показали, что для получения нужного эффекта требуется определенное соответствие между громкостью импульса и громкостью постоянного тона. В случае, если постоянный тон переходит по громкости определенную величину, то наступает маскировка и звуковой импульс перестает быть слышимым:

Для опытов применялась следующая экспериментальная установка (рис. 1).  $T$  — наушный телефон\*, в нем катушки разведены одна от другой и каждая питается независимой цепью;  $\Gamma$  — катодный генератор звуковой частоты;  $D$  — вращающийся диск со скользящим контактом, дающий возможность получать звуковые импульсы разной длительности;  $A$  — аттенюатор, отградуированный в децибелах. Система I питает одну катушку телефона  $T$  и дает систему сигналов. Другая катушка питается генератором  $\Gamma'$  через аттенюатор  $A'$ , также отградуированный в децибелах, и дает непрерывный усилительный тон. Если требуется полное совпадение по частоте и по фазе обоих тонов — тона импульса и тона усилителя, то вторую катушку теле-

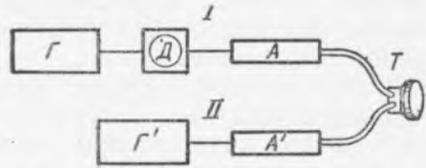


Рис. 1

\* Наушный телефон — обычного типа с двумя катушками, применяемый в телефонной связи, с внутренним сопротивлением в 2000  $\Omega$ . В наших опытах обычная последовательная связь катушек нарушалась, и к каждой катушке подводился свой независимый двойной шнур. Таким образом создается возможность возбуждать каждую катушку, независимо друг от друга. Можно отказаться от применения такого, очень удобного, двойного телефона. Явление усиления имеет место, конечно, и в том случае, если цепь I питает один телефон, а цепь II — другой телефон. Оба телефона должны быть наложены друг на друга и действовать на одно и то же ухо. Если приложить их к разным ушам, явление пропадает и может быть обнаружено только в слабой степени, поскольку возможна передача звука от одного уха к другому через костную проводимость.

фона  $T$  можно питать от генератора  $G$ , минуя диск  $D$ , через добавочный аттенюатор. Мы в наших опытах пользовались и первым и вторым приемом.

Опыты производились следующим образом. В цепь I посылались импульсы заданного тона и заданной длительности. С помощью аттенюатора  $A$  определялся порог слышимости и то положение аттенюатора, при котором импульс перестает быть слышимым. Это положение обозначалось — 0 дб. Затем цепь I размыкалась и в цепь II посылался постоянный тон, настроенный в униссон с импульсом или определенным образом расстроенный. Определялся его порог слышимости — 0 дб. После этого цепи I и II включались одновременно, каждая в свою катушку телефона.

Хотя добавочный тон находился на пороге и не был слышен, однако его добавление давало усиление и импульс становился слышимым. Затем громкость импульса при наличии добавочного тона уменьшалась опять до порога. Число децибел, на которые приходилось уменьшить громкость, служило мерилom полученного усиления. После этого уровень громкости добавочного тона делался равным 1 дб. Неслышимый в последний раз сигнал опять становился слышимым. Уровень громкости импульса опять уменьшался до порога и число децибел, потребных для того, чтобы снизить громкость импульса на пороге без усиления до порога при усилении, являлось мерилom последнего.

Из всех опытов, которые нами были выполнены, выяснилось, что наибольшее усиление получается при уровне громкости добавочного тона 6 дб над порогом; при дальнейшем повышении громкости усиление уменьшается, а затем и вовсе пропадает, так как добавочный тон уже маскирует импульсы.

Явление селективного усиления в широком диапазоне частот не зависит от частоты тона, как показывают результаты для наблюдателя

Таблица 1

Добавочный т.ч., в дб	Наблюдатель В. Л., длительность сигнала 0,6 сек.						Наблюдатель С. Я., длительность сигнала 0,6 сек.					
	Высота тона в Hz						Высота тона в Hz					
	50		500		2000		50		500		4000	
	усиление, дб	усиление, раз	усиление, дб	усиление, раз	усиление, дб	усиление, раз	усиление, дб	усиление, раз	усиление, дб	усиление, раз	усиление, дб	усиление, раз
0	9	8	5	3	5	3	4	2,5	5	3	6	4
1	12	16	10	10	9	8	9	5	8	6	10	10
2	14	25	13	20	11	13	11	13	11	13	12	16
3	16	40	15	30	13	20	13	20	14	25	15	30
4	19	80	19	80	15	30	14	25	15	30	18	63
5	21	130	22	160	18	63	16	40	18	63	19	80
6	<b>23</b>	<b>200</b>	<b>24</b>	<b>250</b>	<b>21</b>	<b>125</b>	<b>18</b>	<b>63</b>	<b>21</b>	<b>126</b>	<b>20</b>	<b>100</b>
7	17	50	17	50	17	50	14	25	18	63	16	40
8	11	13	14	25	14	25	13	20	16	40	14	25
9	—	—	—	—	—	—	—	—	14	25	—	—
10	11	13	12	16	9	8	12	16	13	20	14	25
12	9	8	10	10	7	5	13	20	14	25	13	20
14	—	—	10	10	—	—	—	—	12	16	—	—
16	7	5	7	5	5	3	—	—	13	20	11	13
18	—	—	6	4	—	—	—	—	11	13	—	—
20	4	2,5	5	3	5	3	—	—	11	13	9	8
22	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10	—	—
24	1	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	7

В. Л. при частотах 50, 500 и 2000 Hz и для наблюдателя С. Я. при частотах 50, 500 и 1000 Hz (табл. 1).

Как видно из табл. 1, прибавление неслышимого усиливающего тона в 0 дБ дает для наблюдателя В. Л. при частоте 500 Hz усиление 5 дБ, т. е. в 3 раза. При громкости усиливающего тона в 6 дБ, усиление равно 24 дБ, т. е. 250-кратному. При дальнейшем увеличении громкости добавочного тона усиление падает. При высоте тона 50 Hz наибольшее усиление при уровне громкости в 6 дБ получается 23 дБ, т. е. увеличение в 200 раз, а при высоте 2000 Hz — 21 дБ или в 125 раз.

Колебания наибольших значений усиления для наблюдателя В. Л. в диапазоне от 50 до 2000 Hz лежат в пределах ошибок опыта; 21, 23, 24 дБ, в среднем 23 дБ. Таким образом, для этого наблюдателя наибольшее усиление равно 200-кратному. У наблюдателя С. Я. наибольшее усиление также получается, когда уровень громкости добавочного тона равен 6 дБ. Усиление для всех частот от 50 до 1000 Hz при этом в пределах ошибок опыта одинаково и равно 21, 20 и 18 дБ, или в среднем 20 дБ, т. е. 100-кратному. Расхождение между величиной наибольшего усиления у В. Л. и С. Я., 21 и 24 дБ, следует считать небольшим, так как слуховое восприятие определяется логарифмом интенсивности. Данные других наблюдателей лежат в этих же пределах.

Зависимость от длительности импульса. Поскольку селективное усиление получается в результате процесса накопления, можно было ожидать, что величина усиления зависит от длительности импульса. Опыты подтвердили это ожидание. В табл. 2 показаны результаты опытов, произведенных с импульсами в 0,032, 0,05, 0,30 сек. в дополнение к опытам с импульсами в 0,6 сек., результаты которых приведены выше. Удлинение импульсов больше 0,6 сек. никакого добавочного результата не давало.

Как видно из табл. 2, в которой даны величины усиления в дБ, наибольшее усиление быстро нарастает с ростом длительности импульса, достигая почти предела при длительности в 0,30 сек.

Влияние настройки. До сих пор исследования велись при полном совпадении по высоте тона между сигналом и усилителем. Чтобы проверить, насколько влияет на величину усиления расхождение между числом колебаний тона сигнала и тона усилителя, были поставлены специальные опыты. Расстройка проверялась по числу биений между обоими тонами. Результаты опытов показаны на рис. 2. На оси абсцисс отложены частоты колебаний, на которые расстроен тон усилителя против 1000-периодного тона сигнала. Полное совпадение отмечено началом отсчета — 0. Расхождение отложено по обе

Таблица 2

Добавочный тон, в дБ	Наблюдатель В. Л., высота тона 500 Hz			Наблюдатель С. Я.: высота тона 500 Hz		
	Длительность импульса, в сек.			Длительность импульса, в сек.		
	0,032	0,05	0,30	0,032	0,05	0,30
0	—	6	5	2	4	4
1	—	8	7	5	7	8
2	4	8	9	6	10	11
3	7	9	13	8	11	13
4	9	11	16	10	12	14
5	12	13	19	11	13	16
6	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>11,5</b>	<b>15</b>	<b>18</b>
7	13	8	22	9	12	14
8	11	4	22	8	10	12
9	9	—	14	—	—	—
10	7	4	9	7	10	11
12	5	—	—	7	—	—
14	3	1	5	—	9	10
16	2	—	—	7	—	—
18	—	0	2	5	7	9
20	—	—	—	5	6	—
22	—	—	1	—	6	8

стороны точки 0. На оси ординат отложены величины усиления, принимая усиление при полном совпадении в 100 раз.

Как видно из рис. 2, при расхождении на 2 колебания усиление со 100 падает до 40 раз. При расхождении на 3 колебания усиление падает до 16 раз. При расхождении на 20 колебаний усиление падает до 6 раз. Следует отметить, что дальше, при полном расхождении между обоими тонами, остается все-таки небольшое усиление, раза в 2.

З а к л ю ч е н и е. Обнаруженное нами селективное усиление противоречит обычным представлениям о суммировании двух тонов. Если

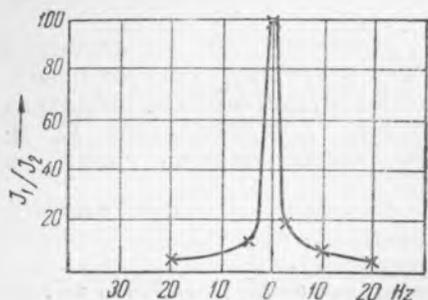


Рис. 2.

к имеющемуся тону с уровнем громкости в 20 дб прибавить такой же непрерывный тон в 1 дб, то в результате суммирования мы услышим тон с уравнением громкости в 20,05 дб, т. е. усиление громкости тона будет незаметно. Но если к тону в 20 дб прибавить импульсы в 1 дб, то импульсы будут отчетливо слышны. Вследствие каких-то особых динамических свойств нервного волокна слабые импульсы заставляют как бы синхронно импульсировать непрерывный

тон в 20 дб, и импульсы становятся очень громкими.

Предложенное нами в начале статьи объяснение усиления путем накопления возбуждения в нервном волокне количественно не совпадает с опытом. В самом деле, теоретически можно было бы предполагать, что селективное усиление достигнет 8-кратной величины, да и то только для звуковых импульсов, сила которых ниже порогового значения. А на опыте получается селективное стократное усиление. Кроме того, опыт показал, что селективное усиление имеет место и тогда, когда сила звуковых импульсов значительно выше порогового значения. Для максимального эффекта требуется только, чтобы сохранилось определенное соотношение между силой звукового импульса и силой непрерывного тона. Именно, максимальный эффект получается, когда уровень непрерывного тона примерно на 20 дб больше уровня звукового импульса. Отсюда приходится сделать заключение, что наблюдаемое нами явление селективного усиления по своей природе значительно сложнее предварительных представлений, которые привели к его открытию. Следует отметить, что в настоящее время селективное усиление обнаружено нами также и для осязания.

Поступило  
9 IV 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Лифшиц, ДАН, 48, № 7 (1945).