АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XV 1969 Вып. 2

УДК 534.88

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАБОТОЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПЕРВИЧНОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

В. С. Маньковский

Теоретически и экспериментально показано, что амплитудное значение функции корреляции двух сигналов, создаваемых в каналах стереофонической системы и искажения по глубине и по фронту взаимно связаны. Наличие этой связи позволяет определять численные значения указанных искажений объективным методом непосредственно по коррелограмме.

Корреляционный метод был успешно использован для изучения бинаурального эффекта [1, 2] и двухканального стереофонического воспроизведения [3]. В последнем случае использовалась аналогия между способностью человека локализовать кажущийся источник звука, создаваемый стереофонической воспроизводящей системой, и свойством пеленгационного устройства. Это устройство, состоящее из двух микрофонов, равномерно вращающихся вокруг оси, находясь от нее на расстоянии 10 *см*, подключалось к входу коррелографа. На выходе последнего получалась кривая корреляционной функции, отвечающая определенному положению кажущегося источника звука.

Сравнение результатов измерений, выполненных методом пеленгации и субъективным методом, показало достаточно полное соответствие выводов, полученных на основании каждого из этих методов и характеризующих восприятие стереофонического сигнала во вторичном поле. Это сравнение показало, в частности, что перемещение максимума функции корреляции пары воспроизводимых сигналов, зарегистрированное по первому из методов, соответствует изменению направления на кажущийся источник звука, определенному по второму.

Корреляционный метод с использованием пеленгатора, предполагающий обязательное воспроизведение стереофонического сигнала, не может быть использован для анализа локализационных искажений, возникающих в процессе записи звука и связанных с особенностями работы микрофонов в первичном поле. Однако есть основание думать, что между корреляционной функцией, с одной стороны, суммарным уровнем и разностью уровней сигналов, определяющих собой искажения в передаче движения кажущегося источника звука по глубине и по фронту, с другой, существует определенная связь. При наличии этой связи о качестве стереофонической передачи можно будет судить уже в процессе звукозаписи и, выдерживая условия, при которых величина корреляционной связи будет строго определенной, обеспечивать необходимое снижение локализационных искажений при получении стереофонической фонограммы.

Для определения возможной зависимости между локализационными искажениями и корреляционной функцией найдем как изменяется последняя для сигналов, принимаемых двухканальной стереофонической системой при перемещении источника звука вдоль линии микрофонов.

Если микрофон располагается так, как показано на рис. 1, а сигнал, излучаемый источником звука S, является гармоническим, то для функции корреляции можно написать следующее равенство:

$$r(\tau)=\frac{1}{T}\int_0^T A_1\cos\omega t\cdot A_2\cos\omega(t+\tau)\,dt=\frac{A_1A_2}{2}\cos\omega\tau. \qquad (1)$$

Представляя характеристики направленности микрофонов в виде $\Phi(\theta)$ и считая, что звуковые давления, действующие на них, обратно пропорциональны соответственным расстояниям до источника звука, и, что этот источник перемещается параллельно линии микрофонов, можно, согласно фиг. 1, выразить амплитуды напряжения на выходе каждого микрофона следующим образом:

$$A_1=u_0\frac{\Phi(\theta_1)}{d_1}\ \text{и}\ A_2=u_0\frac{\Phi(\theta_2)}{d_2}. \qquad (2)$$

Здесь u_0 — напряжение, развиваемое любым микрофоном при расположении в точке S_0 на его оси источника звука, а d_1 и d_2 расстояния от источника до каждого из микрофонов. Из той же фигуры следует, что $\tau = d_2/c_0 - d_1/c_0$; поэтому равенство (1) можно переписать в виде

$$r(\tau)=\frac{A_1A_2}{2}\cos\omega\tau=\frac{u_0^2}{2d_1d_2}\Phi(\theta_1)\Phi(\theta_2)\cos\omega\frac{d_2-d_1}{c_0}. \qquad (3)$$

Для практических расчетов расстояния d_1 и d_2, входящие в равенство (3) и определяющие собой изменение амплитуды и периода функции корреляции, удобнее выражать через значения координат источника звука, представленных в относительных величинах (по отношению к половине расстояния $2l$ между микрофонами). Как следует из фиг. 1, в этом случае амплитудное значение функции корреляции будет

$$B'=\frac{u_0^2}{2}\frac{\Phi(\theta_1)}{\sqrt{(y/l)^2+(1+x/l)^2}}\cdot\frac{\Phi(\theta_2)}{\sqrt{(y/l)^2+(1-x/l)^2}}. \qquad (4)$$

Имея в виду, что напряжение $-u_0$ зависит от чувствительности микрофонов и коэффициента усиления системы, удобнее пользоваться относительным значением амплитуды корреляционной функции

$$B=\frac{2B'}{u_0^2}=\frac{\Phi(\theta_1)\Phi(\theta_2)}{\sqrt{(y/l)^2+(1+x/l)^2}\sqrt{(y/l)^2+(1+x/l)^2}}. \qquad (5)$$

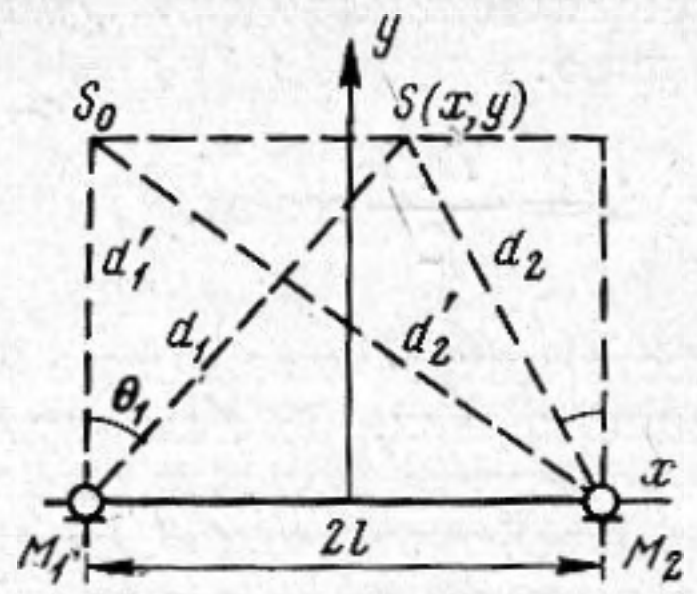
Аргумент косинуса в формуле (3), определяющий изменения периодичности функции корреляции, представленный в относительных величинах (по отношению к l), выразится равенством

$$\frac{\omega}{c_0}(d_2-d_1)=\frac{2\pi f}{c_0}l\left[\sqrt{(y/l)^2+(1-x/l)^2}-\sqrt{(y/l)^2+(1-x/l)^2}\right]. \qquad (6)$$

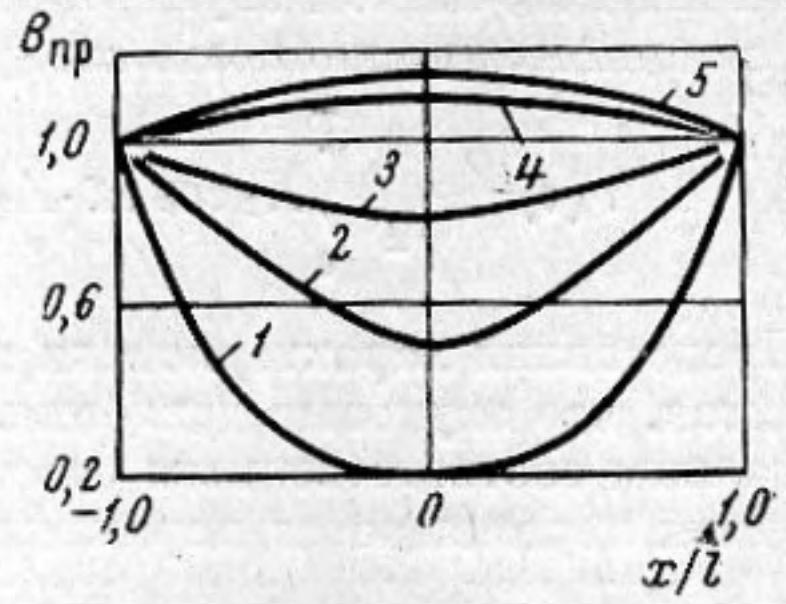
Если теперь в выражение (3) подставить значения амплитуды и фазы, выражаемые формулами (5) и (6), то мы получим выражение для приведенного значения корреляционной функции в виде

$$r(\tau)=\frac{2r(\tau)}{u_0^2}=\frac{\Phi(\theta_1)\Phi(\theta_2)}{\sqrt{(y/l)^2+(1+x/l)^2}\sqrt{(y/l)^2-(1+x/l)^2}}\times$$
$$\times\cos\frac{2\pi}{c_0}fl\left[\sqrt{(y/l)^2+(1-x/l)^2}-\sqrt{(y/l)^2+(1+x/l)^2}\right]. \qquad (7)$$

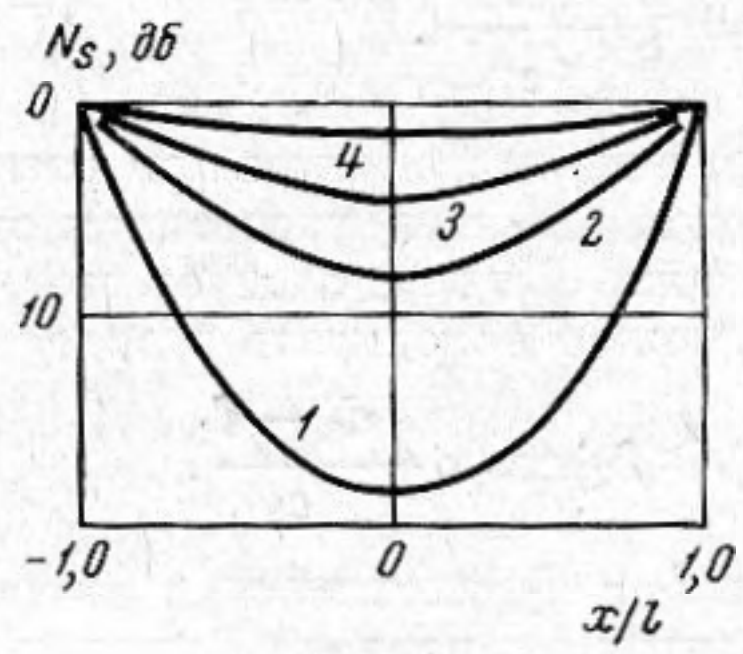
Формула (7) позволяет рассчитать корреляционную функцию для любого расстояния между исполнителем и линией микрофонов двухканальной стереофонической системы, работающей с микрофонами любого типа. Таким образом, эта формула связывает функцию корреляции с величина-



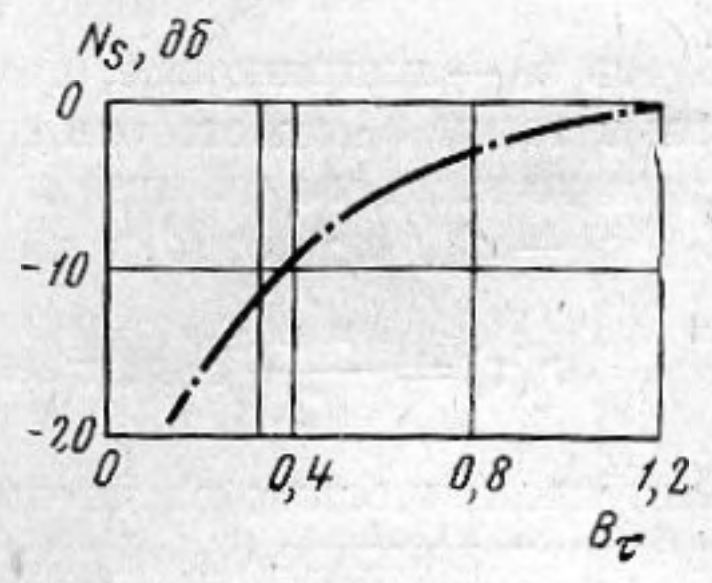
Фиг. 1



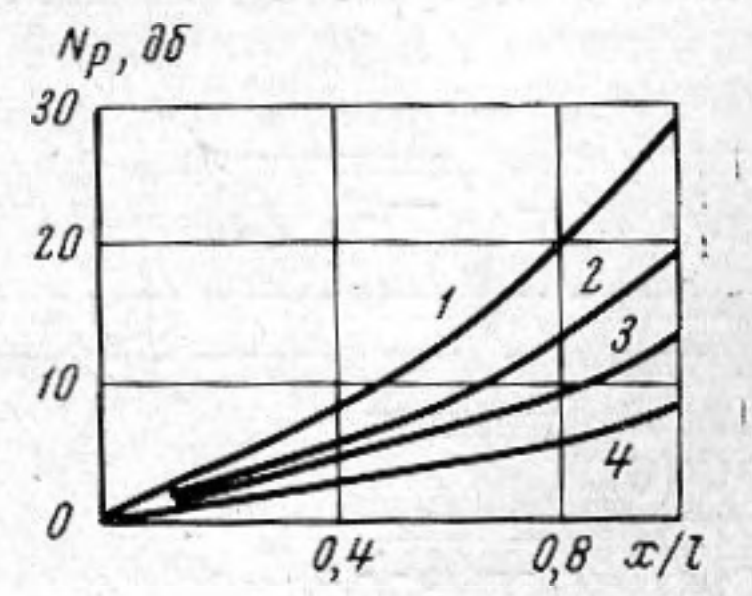
Фиг. 2



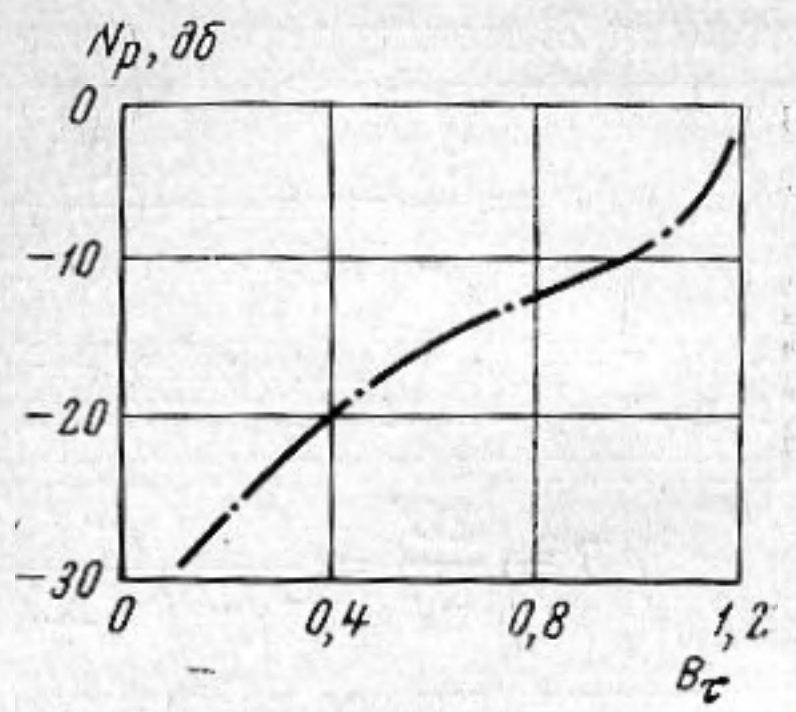
Фиг. 3



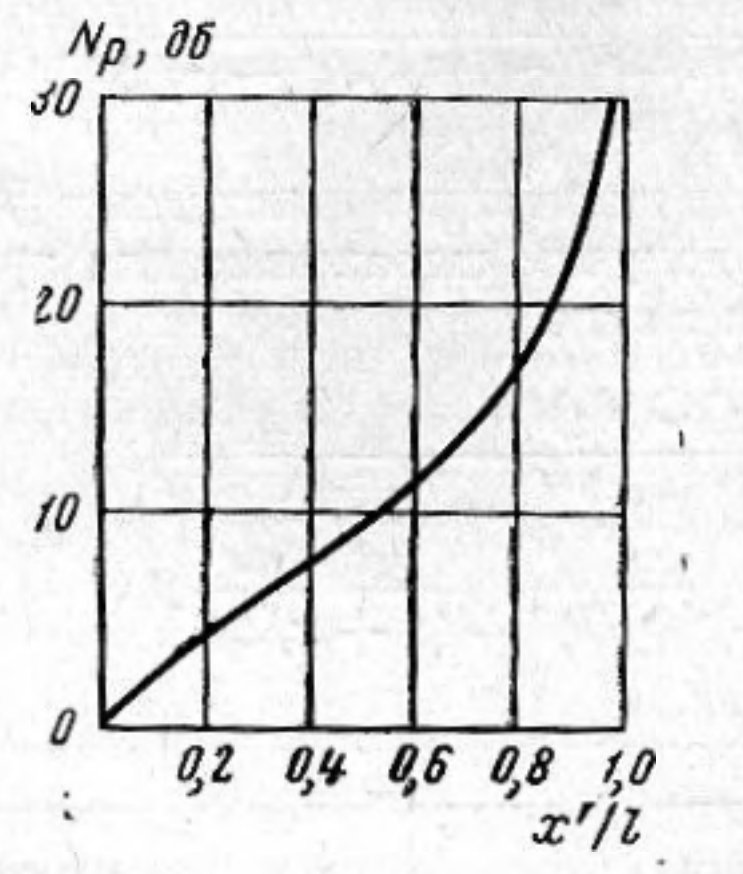
Фиг. 4



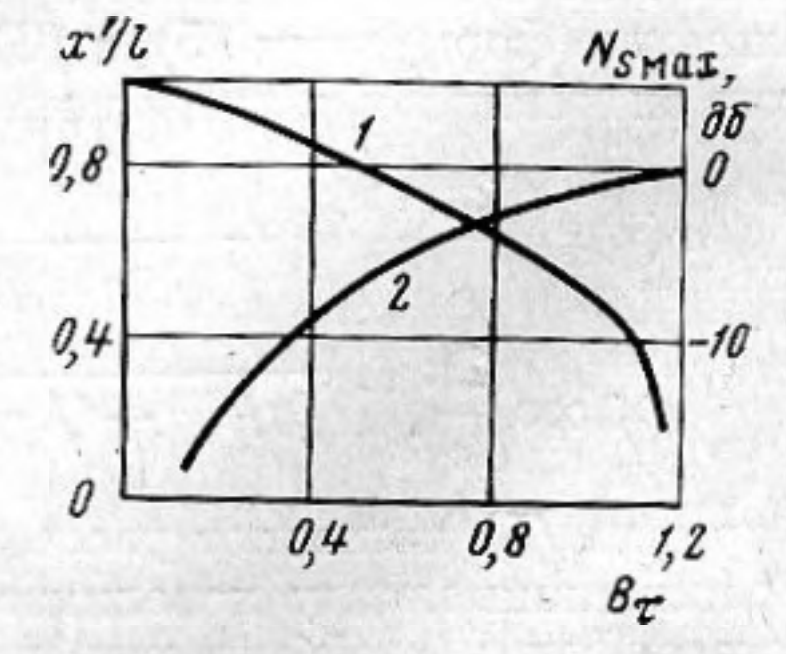
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

ми, характеризующими условия стереофонической записи звука, а так как эти последние в свою очередь определяют величину локализационных искажений, то она может быть использована, после соответствующих изменений, для оценки указанных искажений.

Практически оказалось удобным определять связь между приведенными значениями амплитуд корреляционной функции и положением исполнителя относительно системы микрофонов. Эти приведенные значения находились при условии, что вне зависимости от расстояния y/l между источником звука и линией микрофонов значения амплитуды функции корреляции при размещении исполнителя в точках с абсциссой $x/l = 1$ были бы тоже равны единице. Таким образом определялись приведенные значения амплитуды корреляционной функции вида

$$B_{\text{пр}} = \frac{B}{B_{(x/l=1)}}. \tag{8}$$

На рис. 2 приведены кривые, построенные на основании расчетов по формулам (8) и (5), причем кривые *1, 2, 3, 4* и *5* относятся соответственно к случаям, когда ненаправленные микрофоны $(\Phi(\theta_1) = \Phi(\theta_2) = 1)$ отстоят от исполнителя на расстоянии y/l, равном 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 и 2,0.

Как можно видеть, сравнивая фиг. 2 и фиг. 3, эти кривые очень похожи на кривые изменения суммарного уровня сигнала (N_S) в зависимости от положения x/l исполнителя относительно микрофонов стереофонической системы, характеризующие искажения в передаче движения по глубине и полученные при тех же условиях [4], что и кривые фиг. 2. Это приводит к мысли о том, что между амплитудным значением функции корреляции $B_{\text{пр}}$ и суммарным уровнем сигнала существует простая связь, позволяющая по первому из них судить о величине искажений в передаче движения по глубине.

Чтобы установить эту связь, следует сравнить аналитические выражения для B и N_S.

Как видно из фиг. 1,

$$\frac{y/l}{\sqrt{(y/l)^2 + (1 + x/l)^2}} = \cos\theta_1, \quad \frac{y/l}{\sqrt{(y/l)^2 + (1 - x/l)^2}} = \cos\theta_2. \tag{9}$$

Учитывая это, выражение (5) можно переписать в виде

$$B = \frac{\Phi(\theta_1)\cdot\Phi(\theta_2)\cdot\cos\theta_1\cdot\cos\theta_2}{(y/l)^2}. \tag{10}$$

Отсюда находим, что

$$2B(y/l)^2 = 2\Phi(\theta_1)\cdot\Phi(\theta_2)\cdot\cos\theta_1\cdot\cos\theta_2. \tag{11}$$

Ранее [4] было показано, что изменение суммарного уровня сигнала при стереофонической передаче в зависимости от положения исполнителя относительно микрофонов может быть найдено из равенства

$$N_S = 10\lg\left[\Phi^2(\theta_1)\cos^2\theta_1 + \Phi^2(\theta_2)\cos^2\theta_2\right], \tag{12}$$

которое можно представить в таком виде:

$$10^{0,1N_S} = \Phi^2(\theta_1)\cos^2\theta_1 + \Phi^2(\theta_2)\cos^2\theta_2. \tag{13}$$

Складывая почленно равенства (11) и (13), после некоторых преобразований мы получаем следующее выражение, связывающее между собой B и N_S:

$$N_S = 10\lg\left\{\left[\Phi(\theta_1)\cos\theta_1 + \Phi(\theta_2)\cos\theta_2\right]^2 - 2B(y/l)^2\right\}. \tag{14}$$

Таким образом, зная амплитудное значение функции корреляции, можно по формуле (14) определить соответствующую ей величину искажений в передаче движения по глубине.

Практически для оценки искажений в передаче движения по глубине достаточно знать их максимальную величину при тех или иных расстояниях между исполнителем и линией микрофонов, т. е. важно знать зави-

симость N_S от B при различных значениях y/l и постоянном значении $x/l = 0$. Учитывая также, что B при $x/l = 0$ может быть различным в зависимости от чувствительности микрофонов и уровня усиления коррелометра, при определении характера зависимости $N_{S\,\max} = f(B)$ по корреграмме следует пользоваться приведенным значением B, определенным по отношению к амплитуде корреляционной функции при $x/l = 1$, т. е. значением

$$B_\tau = \frac{B_{(x/l=0)}}{B_{(x/l=1)}}. \tag{15}$$

Так как при $x/l = 0$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, где θ — угол, образованный акустической осью каждого микрофона и направлением на исполнителя при его нахождении на оси системы, то формула (14) с учетом равенства (15) для практических расчетов представится в виде

$$N_{S\,\max} = 10 \lg \left[2\Phi^2(\theta) \cos^2\theta - B_\tau (y/l)^2\right] + 3. \tag{16}$$

Пользуясь этой формулой, можно построить кривую, выражающую интересующую нас зависимость при использовании для стереофонической передачи ненаправленных микрофонов ($\Phi(\theta) = 1$). Эта кривая, приведенная на фиг. 4 и выражающая собой зависимость искажений в передаче движения по глубине от приведенного значения амплитуды корреляционной функции, определенной при нахождении исполнителя на оси системы ($x/l = 0$ или $\tau = 0$), позволяет оценивать эти искажения, исходя из объективных данных, полученных в результате анализа корреграммы.

В частности, эта кривая показывает, что если считать допустимыми искажения в передаче движения по глубине при $N_S = 3$—4 *дб*, то приведенное значение корреляционной функции B_τ для стереофонической системы с ненаправленными микрофонами должно быть не меньше 0,7—0,8.

Известно, что искажения в передаче движения и по глубине и по фронту зависят от уровней сигналов в цепи каналов стереофонической системы. Так как амплитуда корреляционной функции также зависит от этих уровней, то очевидно, что между этой амплитудой и искажениями по фронту существует определенная связь. Для определения этой связи воспользуемся полученной ранее [4] формулой для разности уровней сигналов в стереофонической системе.

$$N_p = 20 \lg \frac{\Phi(\theta_1)\cos\theta_1}{\Phi(\theta_2)\cos\theta_2} = 10 \lg \frac{\Phi^2(\theta_1)[(y/l)^2 + (1 - x/l)^2]}{\Phi^2(\theta_2)[(y/l)^2 + (1 + x/l)^2]}. \tag{17}$$

Из равенства (11) следует, что

$$\Phi(\theta_1)\cos\theta_1 = \frac{B(y/l)^2}{\Phi(\theta_2)\cos\theta_2}. \tag{18}$$

Подставляя значение $\Phi(\theta_1)\cos\theta_1$ из формулы (18) в равенство (17), получаем следующее выражение, связывающее разность уровней сигналов с амплитудой функции корреляции:

$$N_p = 20 \lg \frac{B(y/l)^2}{\Phi^2(\theta_2)\cos^2\theta_2} \tag{19}$$

или, заменяя $\cos^2\theta_2$ его значением из равенства (10),

$$N_p = 20 \lg \frac{B[(y/l)^2 + (1 - x/l)^2]}{\Phi^2(\theta_2)}. \tag{20}$$

Как показывают кривые фиг. 5, построенные по формуле (17) для случая применения в системе ненаправленных микрофонов и расстояний $y/l = 0{,}1$; $0{,}3$; $0{,}5$ и $1{,}0$ (кривые *1*, *2*, *3*, *4*), максимальное значение разности уровней, от которого зависит ширина передаваемого фронта движения, отвечает значению $x/l = 1$. Поэтому, казалось бы, что для оценки искажений в передаче движения по фронту с помощью корреляционной функции следует определить зависимость $N_p = f(B)$ при различных зна-

чениях y/l и при значении $x/l = 1$, причем в расчетах пользоваться приведенным значением корреляционной функции вида $B_{(x/l=1)}/B_{(x/l=0)}$.

Учитывая, однако, что при определении связи между искажениями в передаче движения по глубине и функцией коррекции использовалось обратное отношение вида (15), целесообразно и искажения в передаче движения по фронту находить также в связи с приведенным значением корреляционной функции — B_τ.

Если иметь в виду замечания, сделанные выше, т. е. считать, что $x/l = 1$ и $B = 1/B_\tau$, то равенство (20) можно представить в виде

$$N_{p(x/l=1)} = 20 \lg \frac{(y/l)^2}{B_\tau \Phi^2(\theta_2)}. \tag{21}$$

На фиг. 6 приведена кривая, построенная по формуле (21) для случая применения ненаправленных микрофонов ($\Phi(\theta_2) = 1$). Эта кривая показывает, что увеличению отношения $B_{(x/l=0)}/B_{(x/l=1)} = B_\tau$ отвечает сначала медленное (до $B_\tau = 1$), а потом очень быстрое уменьшение разности уровней сигналов в системе. Уменьшение же разности уровней ведет за собой сокращение фронта движения, что следует из кривой фиг. 7 [4], на которой показано, как изменяется положение x'/l кажущегося источника звука во вторичном поле при изменении разности уравнений сигналов в системе.

Для непосредственного суждения об искажениях по фронту, пользуясь кривыми фиг. 6 и фиг. 7, можно построить график зависимости $x'/l = f(B_\tau)$, приведенный на фиг. 8 (кривая *1*). Из графика следует, что, если, например, считать допустимым сокращение фронта при звуковоспроизведении на 20% ($x'/l \geqslant 0{,}8$), то это означает, что B_τ не должно превосходить значения 0,5—0,55. Кривая *2* на фиг. 8 выражает собой связь между приведенным значением B_τ амплитуды корреляционной функции и максимальным изменением суммарного уровня $N_{S\,\max}$ сигналов, определяющим искажения в передаче движения по глубине. В частности, согласно этой кривой при $B_\tau = 0{,}5$ указанные искажения для данной системы микрофонов будут равны 5—6 *дб*. Таким образом, определяя по коррелограмме значения B_τ, можно, пользуясь кривыми, подобными представленным на фиг. 8, одновременно найти величины искажений в передаче движения как по глубине, так и по фронту. Отсюда следует важный вывод о том, что корреляционный метод позволяет объективно оценивать искажения в передаче движения еще в процессе стереофонической записи звука.

Известно, что правильность передачи движения по фронту обусловлена не только определенной разностью уровней сигналов в каналах системы, но и разностью во времени прихода этих сигналов к слушателю, а значит и к микрофонам. Формула же (21) и кривая *1* фиг. 8 позволяют определить влияние на характер движения по фронту только первой из названных разностей. Вместе с тем, в выражении (3) корреляционной функции входит величина $d_2 - d_1$, которая определяет собой эффект движения, обусловленный временной разностью прихода сигналов.

Так как величина $d_2 - d_1$ входит в аргумент косинусоидальной функции в выражении (3), то для определения влияния разности хода звуковых волн на характер корреляционной функции следует определить, при каких величинах τ или x/l эта функция принимает максимальные, минимальные и нулевые значения. Как видно из формул (7) и (6), это имеет место при

$$d_2 - d_1 = 2n\pi \frac{c_0}{\omega} = \frac{nc_0}{f}; \quad d_2 - d_1 = \frac{2n+1}{2}\pi \frac{c_0}{\omega} = \frac{(2n+1)c_0}{4f}$$

и

$$d_2 - d_1 = (2n+1)\pi \frac{c_0}{\omega} = \frac{(2n+1)c_0}{2f}. \tag{22}$$

Таким образом, при определенном значении частоты сигнала точки на оси t или x/l, в которых функция корреляции будет иметь экстремальные или нулевые значения, будут определяться из равенства

$$d_2 - d_1 = k, \tag{23}$$

где k — является величиной, не зависящей от положения источника относительно системы микрофонов и определяемой по одному из трех равенств вида (22). Учитывая это и выражая d_1 и d_2 в относительных единицах через координаты источника звука, равенство (23) можно представить так:

$$\sqrt{(y/l)^2 + (1 - x/l)^2} - \sqrt{(y/l)^2 + (1 + x/l)^2} = k/l. \tag{24}$$

Отсюда следует, что

$$(x/l)^2 = \frac{(y/l)^2 - 0{,}25(k/l)^2 + 1}{4(l/k)^2 - 1}. \tag{25}$$

Связь между x/l и k/l, выражаемая этой формулой, представлена кривыми *1*, *2*, *3*, *4* фиг. 9 соответственно для значений $y/l = 0{,}25$; 0,5; 1,0 и 2,0.

Если, исходя из равенств (22), найти численные значения k/l, то по кривым фиг. 9 можно определить соответствующие этим значениям точки на оси x/l, в которых функция корреляции приобретает максимальное нулевое или минимальное значение. Из равенств (22) следует, что по мере увеличения частоты сигнала, выбранного для измерений, интервалы между точками экстремальных значений функции будут становиться все меньше.

Кроме того, как это видно из кривых фиг. 9, эти интервалы не будут одинаковыми. По мере увеличения x/l каждый следующий интервал будет больше предыдущего, особенно при значениях $x/l > 1$. Следовательно, повышение частоты сигнала приводит к увеличению количества максимумов в пределах одного и того же расстояния x/l, а увеличение этого расстояния, или точнее увеличение связанной с этим разности хода $d_2 - d_1$, приводит к апериодичности корреляционной функции.

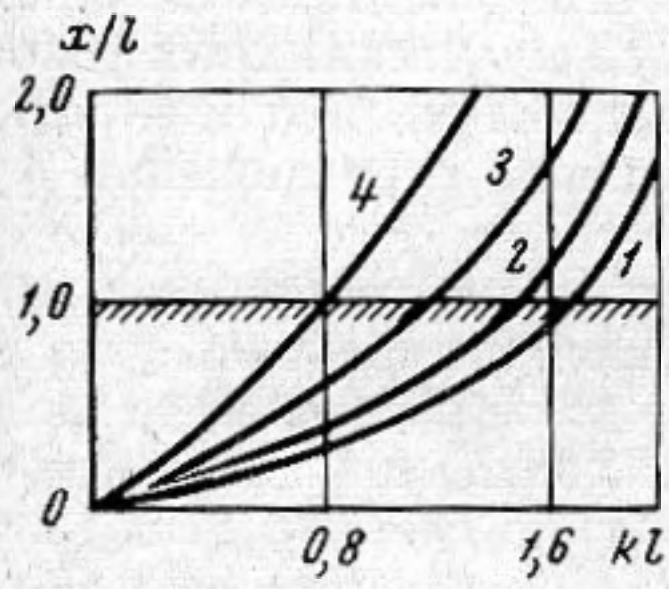
Таким образом, разность $d_2 - d_1$, определяющая собой сдвиг во времени прихода сигнала к микрофонам и характеризующая стереофонический эффект, обусловленный временной разностью, непосредственно связана с изменением периодичности функции корреляции. Следовательно, по изменению этой периодичности можно судить о величине фронтального движения кажущегося источника звука, обусловленного разностью во времени прихода сигналов к микрофонам стереофонической системы.

В целях проверки правильности сделанных выше выводов важно убедиться в том, что теоретические кривые корреляционной функции, на которых строились эти выводы, совпадают с экспериментальными. Для этого сначала, пользуясь формулами (7) и (25), были построены кривые $r(t) = f(x/l)$. Исходными данными для расчета этих кривых были частота сигнала $f = 640$ *гц* и расстояние между микрофонами $2l = 1{,}5$ *м*. Для упрощения вычислений считалось, что микрофоны являются ненаправленными, т. е. $\Phi(\theta_1) = \Phi(\theta_2) = 1$.

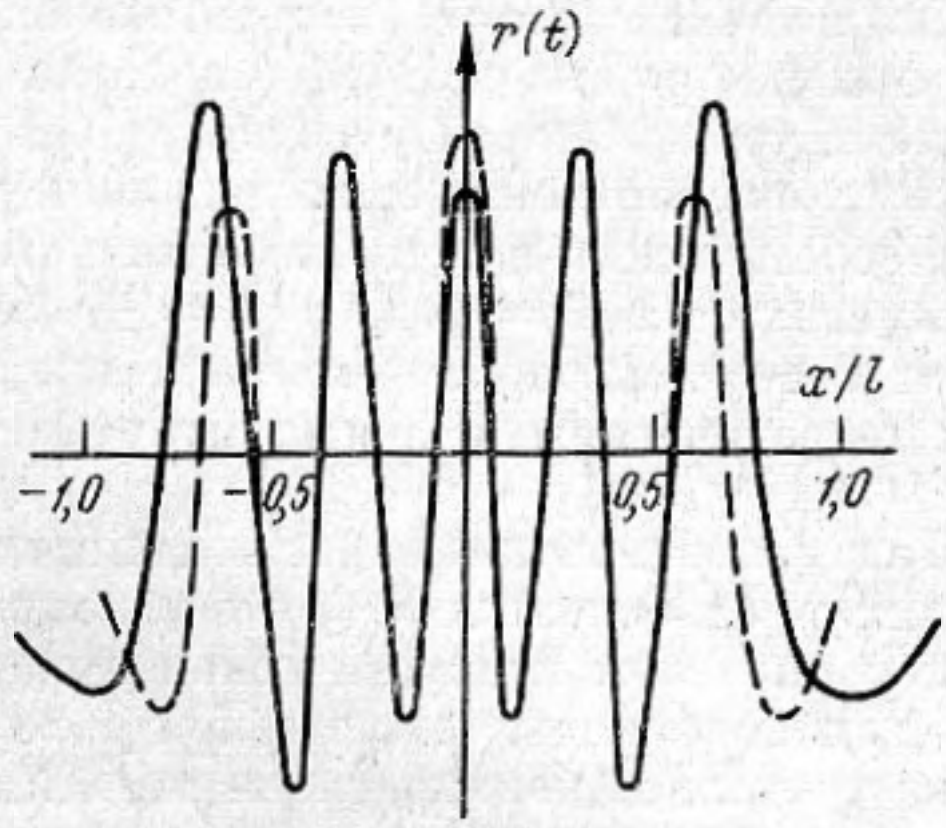
Кривые, рассчитанные для расстояний между линией микрофонов и линией перемещения исполнителя $y/l = 0{,}5$; 1,0; 2,0, приведены соответственно на фиг. 10, 11 и 12 и показаны сплошными линиями.

Сравнивая между собой кривые последних фигур, можно заметить, что при малых значениях y/l (меньших единицы) перемещение x/l исполнителя влево и вправо от оси системы микрофонов приводит к увеличению амплитуды функции корреляции. Увеличение это тем больше или, что тоже, B_τ тем меньше единицы, чем меньше величина y/l. Когда относительное расстояние y/l близко к единице, амплитуда корреляционной функции перестает расти вместе с изменением x/l.

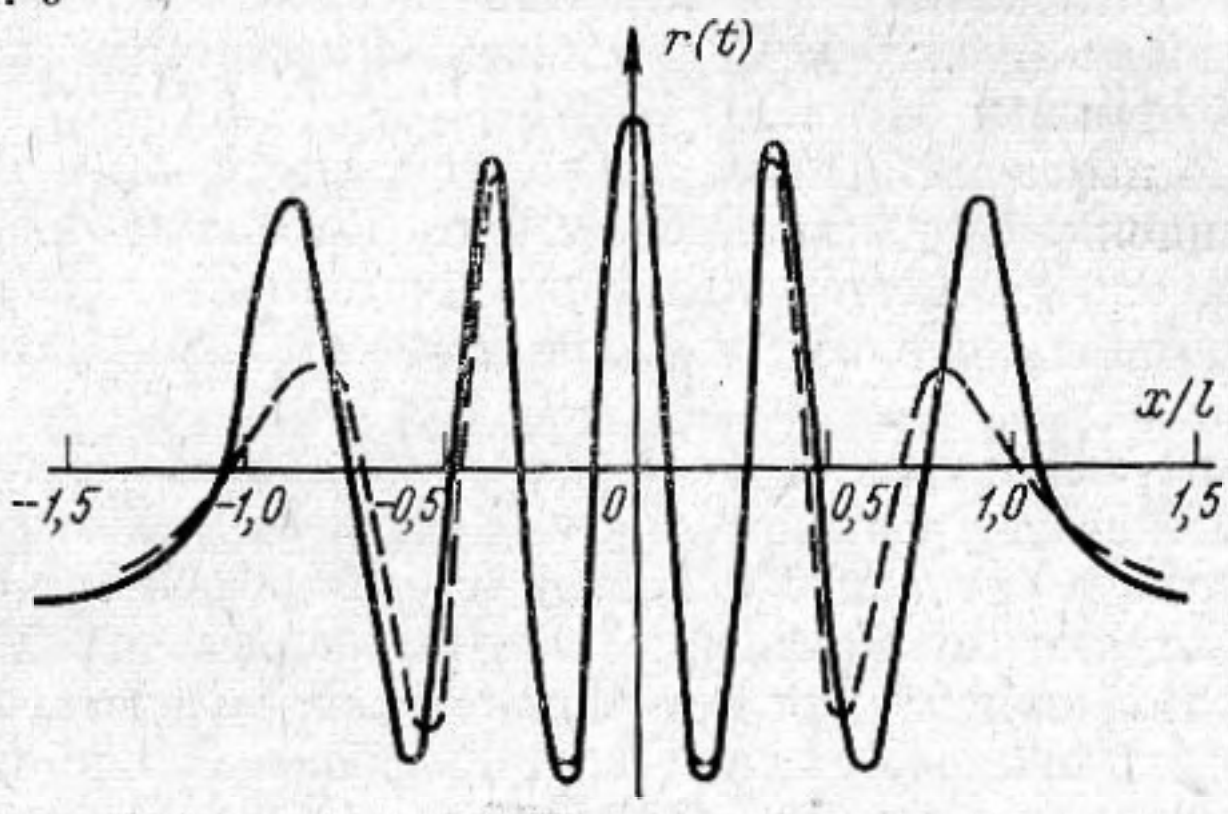
При больших же значениях y/l эта амплитуда начинает падать, хотя и не так быстро, как происходил ее рост при уменьшении y/l по сравнению с единицей. Это означает, как отмечалось выше, что по изменению относительной величины амплитуды B_τ можно судить об изменениях тех характеристик стереофонического сигнала, которые связаны с изменением



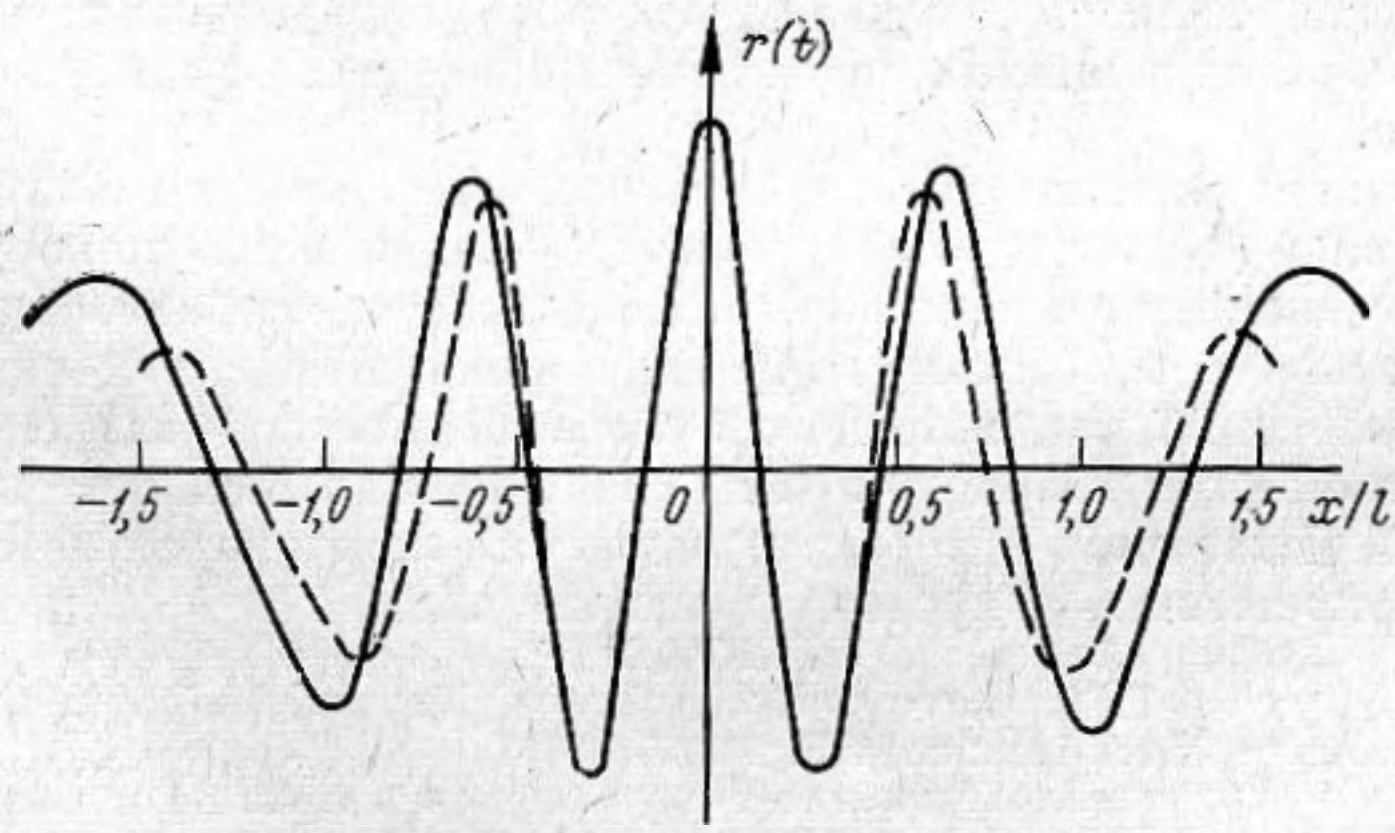
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

x/l и y/l, т. е. с искажениями в передаче движения по глубине и по фронту. На каждой из фиг. 10, 11 и 12 можно заметить увеличение апериодичности корреляционной функции по мере увеличения x/l и некоторое расширение кривых по оси x/l при увеличении y/l.

Получение экспериментальных кривых корреляционной функции, необходимых для сравнения с теоретическими, осуществлялось с помощью двухканального корреляционного анализатора, на вход которого подавался сигнал с ненаправленных микрофонов типа МК-5. Расстояние между микрофонами $2l$, расстояния y/l и частота сигнала были выбраны теми же, что и при построении теоретических кривых. Приведенные к теоретическим в точке $x/l = 0$ экспериментальные кривые корреляционной функции при $y/l = 0{,}5$; 1,0; и 2,0 показаны на фиг. 10, 11 и 12 пунктирными линиями только на тех участках, на которых они не совпадают с теоретическими. Рассмотрение этих графиков убеждает в том, что полное совпадение теоретических и экспериментальных кривых наблюдается на участках в пределах от $x/l = 0$ до $x/l = \pm 0{,}5 \div 0{,}8$. За пределами этих участков имеет место некоторое несоответствие амплитудных значений, определенных теоретическим и опытным путем, и изменение периодичности функций.

Так как отмеченные расхождения наиболее заметны при малых значениях y/l и больших x/l, что указывает на наличие большого угла между исполнителем и акустической осью одного из микрофонов, то они могут быть объяснены тем, что при расчете как микрофоны, так и источник звука считались ненаправленными. Таким образом, фиг. 10, 11 и 12, подтверждая правильность теоретических выводов, указывают на необходимость при расчетах зависимости величины искажений в передаче движения по глубине и по фронту от B_τ учитывать фактическую направленность источника и приемников звука.

Изложенные выше материалы приводят к следующим выводам.

1. Корреляционная функция может быть выражена через относительные величины, определяющие положение источника звука относительно системы микрофонов, используемых при двухканальной стереофонической записи звука.

2. Изменение амплитуды и фазы корреляционной функции является следствием изменения уровней в каналах системы и изменения разности во времени прихода сигнала к каждому из микрофонов. Эти изменения, как известно, влияют на положение кажущегося источника звука.

3. О движении кажущегося источника звука вследствие наличия разности во временах прихода сигнала к микрофонам можно судить по нарушению периодичности функции корреляции.

4. Амплитудное значение корреляционной функции зависит от изменения уровней сигналов в каналах системы, определяемых положением исполнителя и влияющих на положение в пространстве кажущегося источника звука.

5. Связывая значение B_τ с суммарным уровнем сигнала N_S и разностью уровней N_p, можно еще в процессе записи звука по коррелограмме определить искажения в передаче движения как по глубине, так и по фронту. Это позволяет, применяя корреляционный метод измерений, еще в процессе репетиций или в процессе стереофонической записи звука выбрать ограниченную ширину полосы перемещения исполнителя, в пределах которой искажения в передаче движения кажущегося источника звука не будут превышать допустимую величину.

ЛИТЕРАТУРА

1. B. A. McSayers, E. C. Cerry. Mechanism of binaural fusion in the hearing of speock. J. Acoust. Soc. America, 1957, 29, 973—987.
2. Сюй-Хуан Чжан. Исследование бинаурального эффекта корреляционным методом (канд. дис.) Моск. электротехнический институт связи, 1959.
3. Б. А. Адаменко. К вопросу объективной оценки локализации кажущегося источника звука при стереофоническом воспроизведении сигнала. Вопр. радиоэлектрон., 1964, 8, 1, 52—61.
4. Я. Ш. Вахитов, В. С. Маньковский. Искажения в передаче движения источника звука при стереофоническом звуковоспроизведении. Акуст. ж., 1957, 3, 2, 115—126.

Ленинградский институт
киноинженеров

Поступила в редакцию
5 января 1968 г.