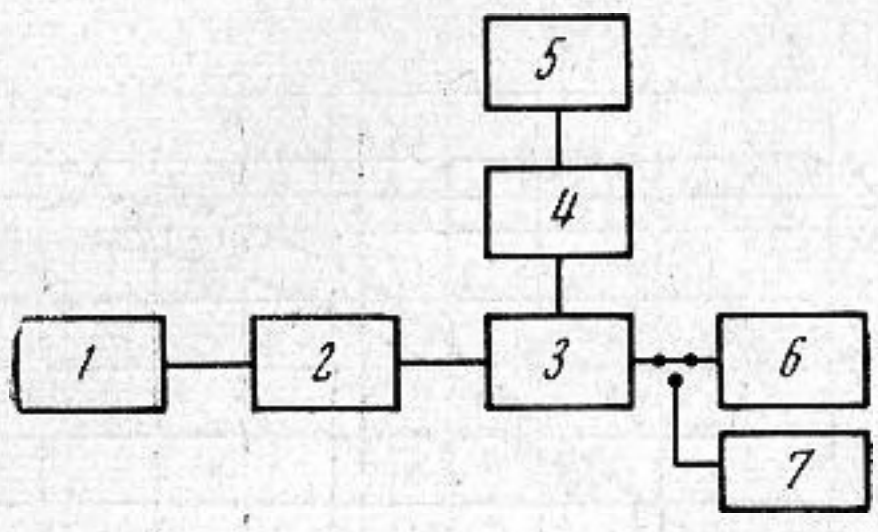
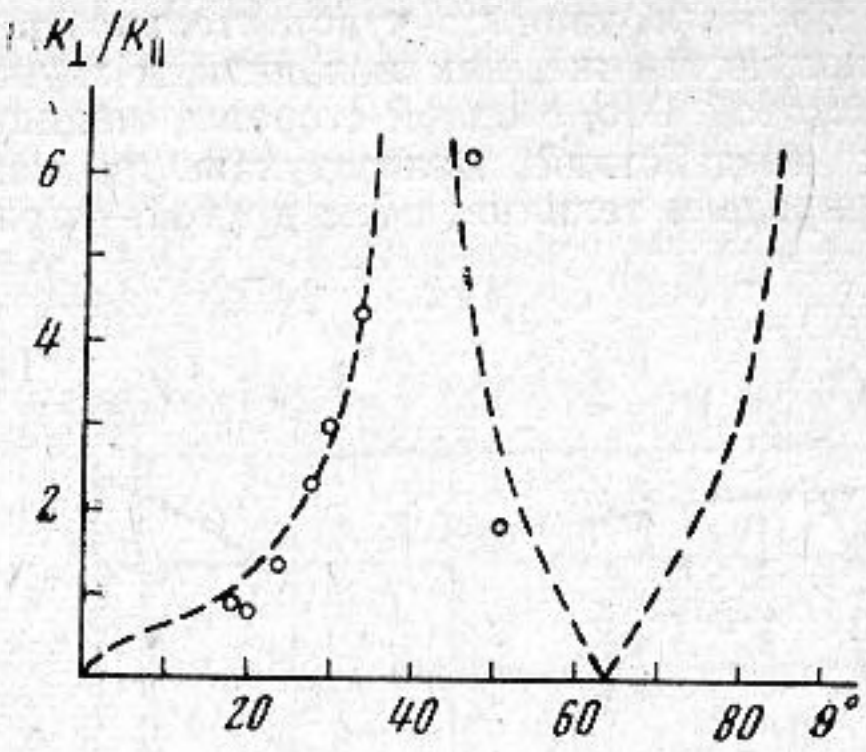
Здесь A — коэффициент преобразования, ω — круговая частота, c — емкость преобразователя, R — волновое сопротивление линии в месте подключения преобразователя, $Z_з$ — акустический импеданс звукопровода, $Z_п$ — акустический импеданс ма-



Фиг. 2



Фиг. 3

териала преобразователя, Z_D — акустический импеданс материала подслоя, v — скорость звука в материале преобразователя, v_D — скорость звука в материале подслоя, d — толщина преобразователя, d_D — толщина подслоя. На фиг. 3 показана зависимость $k_\perp/k_\parallel$ от угла θ. Полученные значения коэффициентов электромеханической связи $k_\parallel$ и $k_\perp$ для пленок с θ в интервале 10—55° достигали 60÷80% расчетных значений для монокристаллов [1]. Для пленок с $\theta=0°$ значение $k_\parallel$ достигало 90% расчетного. Удельное сопротивление пленок ZnO при измерении на СВЧ составляло $5\cdot10^2$—$5\cdot10^3$ *ом·см*, т. е. на полтора порядка меньше, чем при измерениях четырехзондовым методом на постоянном токе [3]. Значение коэффициента преобразования в коаксиальной системе для лучших пленок равнялось 13 *дб*. С помощью пленок в монокристаллических диэлектриках были возбуждены гиперзвуковые волны на частотах 1—40 *Ггц*.

Таким образом, описанный способ получения тонких пленок окиси цинка позволяет получать поликристаллические, текстурированные пленки с заданным направлением оси текстуры, которые могут быть использованы для эффективного возбуждения продольных и поперечных гиперзвуковых колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. F. Foster, J. A. Coquin, J. A. Rozgonyi, F. A. Vannatta. Cadmium and Zinc Oxide Thin-Film Transducer. IEEE Trans., 1968, **SU-15**, 1, 28–41.
2. N. F. Foster. Crystallographic Orientation of Zinc Oxide Films Deposited by Triode Sputtering. J. Vac. Sci. Technol., 1969, 6, 1, 111–119.
3. Н. Л. Кенигсберг, А. Н. Чернец, Т. С. Космачева, А. А. Гринченко. Гиперзвуковые преобразователи на основе тонких пленок ZnO. Физ. тв. тела, 1970, **12**, 6, 1861–1863.
4. Л. С. Палатник, И. И. Папиров. Ориентированная кристаллизация. М., «Металлургия», 1964, 237–246.
5. К. В. Гончаров. К теории пьезопреобразователей. Акуст. ж., 1958, **4**, 1, 37–46.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук УССР

Поступила
2 января 1973 г.

УДК 534.612

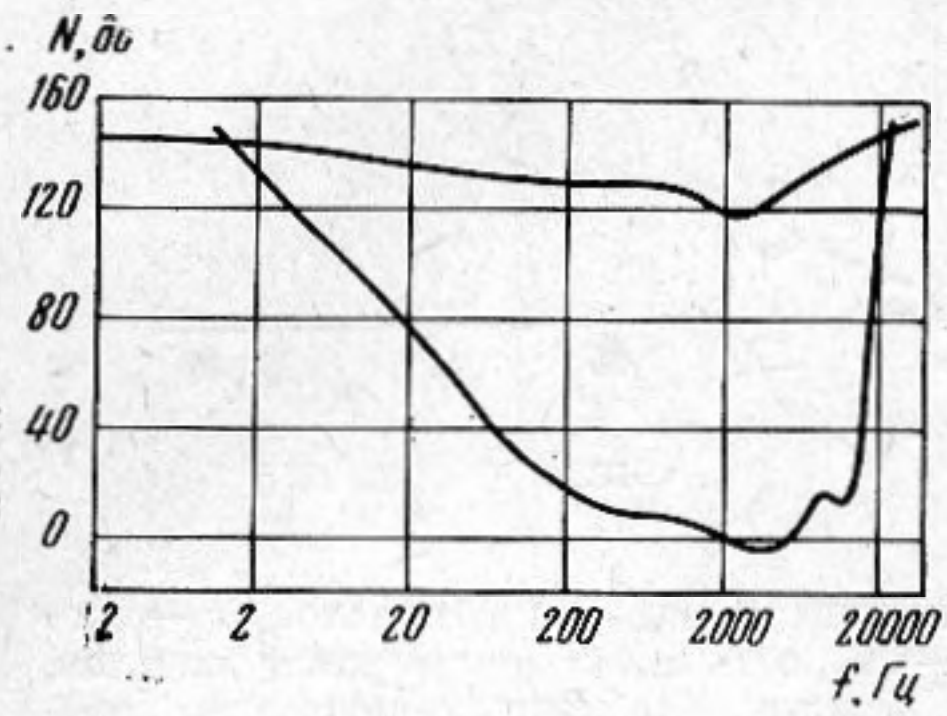
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ ШУМОВ

В. В. Давыдов, Э. Н. Малышев

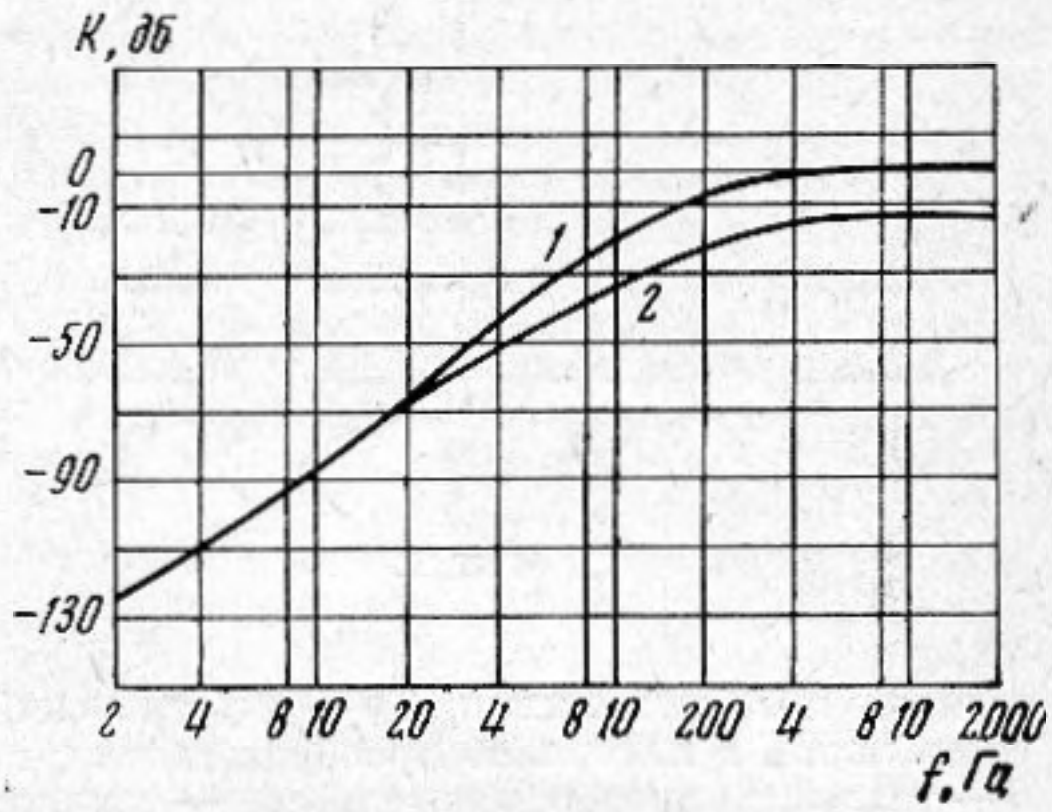
Исследования ряда авторов [1—3] свидетельствуют о том, что слуховой аппарат человека способен воспринимать колебания избыточного давления очень низких частот, правда, при сравнительно высоких уровнях. Установлено [1], что при уменьшении частоты колебаний с соответствующим увеличением уровня давления порог слышимости в области 1,5 *гц* уже совпадает с болевым порогом. Последнее можно проиллюстрировать кривыми области слухового восприятия человека (фиг. 1), построенными на основании ряда исследований [1, 4, 5]. Верхняя кривая характери-

зует уровень болевого порога, а нижняя кривая — уровень порога слышимости. При соответствующих интенсивностях область слухового восприятия значительно превосходит область частотного диапазона, в котором обычно проводится нормирование и измерения шума.

По этим данным чувствительность слухового анализатора человека к инфразвуковым так же, как и к низким звуковым колебаниям, значительно уменьшается с частотой. Это, с одной стороны, защищает нервную систему от слишком интенсивных воздействий малозатухающих колебаний низших частот, распространенных в природе и технике, но, с другой,— приводит к их маскированию вследствие повы-



Фиг. 1



Фиг. 2

шенной чувствительности слуха к колебаниям средних частот, хотя первые могут оказывать более вредное воздействие на организм человека [6].

Действительно, как показал опыт при разработке и эксплуатации ряда измерителей инфразвуковых и звуковых шумов, созданных на кафедре акустики ЛИКИ, сравнительно высокая их чувствительность часто затрудняет возможность проведения градуировки и измерений, и только ведение соответствующей аттенюации обеспечивает их нормальную работу. Последнее объясняется наличием в обычных условиях, а также в звукомерных камерах, значительного уровня инфразвуковых колебаний: здесь сказывается и работа отдаленных, но мощных механизмов, флуктуации ветра, движение транспорта и даже хлопанье дверьми.

Для исключения подобных воздействий, а также учитывая указанные свойства слуха, необходимо вводить в инфразвуковые шумомеры соответствующую коррекцию. В этом случае идеальная взвешанная частотная характеристика шумомера для чистых тонов в диапазоне от 1 до 1000 *Гц*, соответствующая порогу слышимости, должна иметь вид кривой *1* (фиг. 2). Однако с учетом достигнутого в настоящее время для шумомеров минимально регистрируемого уровня давления (−15 дБ А) она будет выглядеть несколько иначе (кривая *2*). Причем в диапазоне от 10 до 1000 *Гц* она соответствует стандарту МЭК (179, 1965 г.), а ниже – слуховому восприятию инфразвуковых колебаний. Осуществить такую характеристику можно, введя в шумомер акустическую коррекцию, которая ослабит воздействие непосредственно на приемный электроакустический преобразователь инфразвуковых составляющих за пределами нормированной полосы пропускания [7]. В то же время для объективной регистрации и анализа шума необходимо иметь и линейную частотную характеристику шумомера. Однако и здесь надо учитывать то обстоятельство, что чем ниже частоты инфразвуковых составляющих, тем выше их относительный уровень давления. Поэтому и для этого случая лучше применить акустическую аттенюацию приемного элемента [8].

Распространение таких приборов позволит развернуть определение и исследование источников инфразвука высокой интенсивности, изучение степени их вредного воздействия или полезного использования, а также более детальный анализ спектра музыки и речи [9] для повышения качества звукопередачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. V. Bekesy. Über die Hörschwelle und Fühlgrenze langsamer sinusförmiger Luftdruckschwankungen. Ann. Phys., 1936, **26**, 6, 554–566.
2. H. W. Ades. Non auditory effect of high intensity sound stimulation on deaf human subjects. J. Aviat. Med., 1958, **29**, 454–467.
3. N. S. Yewort, M. E. Brean, W. N. Tempest. The monaural MAP threshold of hearing at frequencies from 1.5 to 100 Hz. J. Sound and Vibration, 1967, **6**, 3, 335–342.
4. R. W. Stephens. Infrasonics. Ultrasonics, 1969, **7**, 1, 30–35.

5. С. Н. Ржевкин. Слух и речь в свете современных физических исследований. М.– Л., ОНТИ. 1936.
6. Э. Н. Малышев. К вопросу о нормировании шумов инфразвукового диапазона. Матер. I. Всес. научно-техн. конф. по проблемам защиты от шума и вибрации. Ленинградский ин-т инженеров железнодорожного транспорта, 1972, 70–73.
7. В. В. Давыдов, А. Д. Хохлов. Особенности градуировки микрофонов в области низких звуковых и инфразвуковых частот. Тр. Ленинградск. ин-та киноинженеров, вып. XXI, 1973, 54–63.
8. А. Д. Хохлов, М. Г. Юдин, Ф. В. Семякин. Измеритель высоких инфразвуковых и звуковых давлений. Тр. Ленинградск. ин-та киноинженеров, вып. XV, 1971, 29–39.
9. В. П. Морозов, П. А. Пуолокайнен, А. Д. Хохлов. Инфразвуки, генерируемые голосовым аппаратом человека в процессе речи и пения. Акуст. ж., 1972, 18, 1, 144–146.

Ленинградский институт киноинженеров
Ленинградский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Поступила
22 января 1973 г.

УДК 621.376 : 621.378.325

ОТКЛОНЕНИЕ СВЕТОВОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ДВУМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЕТКИ

А. В. Иванов, В. М. Фомченков

Для ряда практических применений лазерного излучения необходимо создание устройств, осуществляющих управляемое отклонение оптического пучка. Так, например, сканирующие лазерные устройства играют важную роль в информационных системах при съеме, записи и воспроизведении информации [1].

Одним из известных в настоящее время методов управления отклонением светового пучка является ультразвуковой рефракционный метод [2], отличающийся простотой получения высокоскоростного сканирования в углах до 6° при разрешении 10^4 элементов на кадр [3]. Этот метод основан на явлении рефракции узких (диаметр пучка меньше четверти длины волны ультразвука) световых пучков на градиенте показателя преломления, создаваемом в прозрачной среде ультразвуковым полем. Наибольшее распространение получил режим стоячих волн. В этом режиме световой пучок пропускается через узел давления стоячей ультразвуковой волны, ортогонально направлению ультразвуковых колебаний. В работах [2, 4, 5] рассматриваются вопросы оптимального выбора параметров ультразвукового поля, диаметра светового пучка и рабочего вещества. Ниже рассматривается вопрос об увеличении эффективности ультразвукового рефракционного метода сканирования лазерных пучков.

Очень часто практическое значение имеет двумерное отклонение светового пучка, которое при сканировании с помощью стоячей волны обеспечивается с помощью двух ультразвуковых полей со взаимно перпендикулярными направлениями колебаний, создающими градиент показателя преломления по двум координатам. В этом случае возможны два варианта: 1) отклонение обеспечивается двумя ультразвуковыми ячейками: в которых излучатели расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях [6]; 2) отклонение осуществляется в одной ячейке с двумя взаимно ортогональными ультразвуковыми полями [3, 7]. В зависимости от соотношения частот и фаз колебаний получаются различные траектории отклонения в виде фигур Лиссажу. Оба способа имеют свои достоинства и недостатки, подробно рассмотренные в работе [3]. Для практической реализации двумерного сканирования ультразвуковым рефракционным методом наиболее приемлем случай спиральной траектории, получаемой при равенстве частот двух ортогональных ультразвуковых колебаний, при сдвиге фаз между ними 90° и амплитудной модуляции интенсивности ультразвукового поля. Обычно необходимый сдвиг фаз достигается за счет соответствующего сдвига фаз питающих излучатели напряжений, что обеспечивается применением одного задающего генератора, фазовращателя и двух усилителей мощности [3, 6].

Определенный практический интерес представляет двумерное сканирование лазерного пучка в поле фокусирующей ультразвуковой системы [8], которая дает возможность использовать только один излучатель ультразвука. Однако в этом случае сдвиг фаз между двумя взаимно ортогональными компонентами ультразвуковых колебаний является нерегулируемым параметром. В то же время возможно получение от одного плоского излучателя ультразвукового поля с двумерным градиентом показателя преломления и любым регулируемым сдвигом фаз между двумя взаимно ортогональными компонентами колебаний.