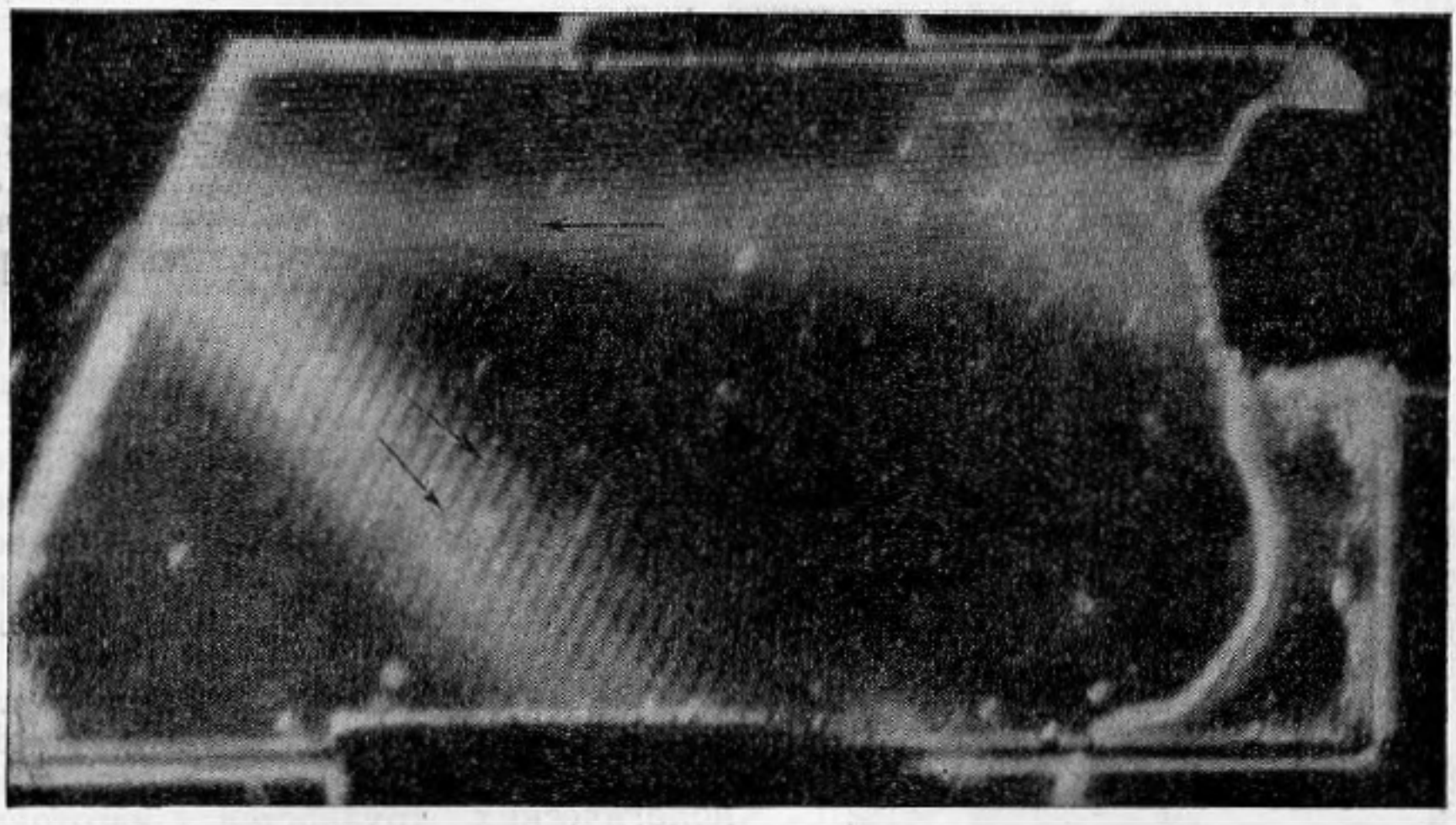
На фиг. 2 приведен фотоснимок интерференционных полос при отражении ультразвука с частотой $\nu = 3520$ *кгц*, на границе с воздухом.

Иногда высказывается мнение, что сдвиговые волны нельзя видеть методом темного поля, поскольку при чистой деформации сдвига не происходит изменения плотности, а следовательно, не меняется и показатель преломления. Теоретические соображения Мюллера [1] показывают, что показатель преломления должен изменяться не только под влиянием изменения плотности, но и под влиянием упругих напряжений, создающих анизотропию молекулярной рефракции. Интенсивность диффракционной картины на сдвиговых волнах должна быть, однако, слабей, чем на продольных, поскольку она



Фиг. 2. Интерференционные явления в зоне положения сдвиговой и продольной волны в стекле

определяется разностью двух упругооптических постоянных Неймана (p и q). Эффект диффракции на сдвиговых волнах, а следовательно, и возникновение видимого изображения волн на темном поле, должен наблюдаться как в естественном свете, так (особенно отчетливо) и в поляризованном свете при скрещенных николях, если плоскость поляризации повернута под углом 45° к направлению сдвиговых деформаций.

Визуализация сдвиговых волн по методу темного поля с применением поляризационной оптики была осуществлена Гидеманом и Хешем [2] в 1935 г. В 1955 г. Гидеман [3] показал возможность образования диффракционных спектров от щелевого источника на сдвиговых волнах в стекле. Следует считать, что возможность визуализации сдвиговых волн при использовании естественного света, как это имело место в наших опытах, явилась следствием большой чувствительности установки в отношении выявления слабых контрастов освещенности.

Можно полагать, что изучение визуальным методом распространения сдвиговых волн в твердых телах представляет интерес для ряда областей физики и для решения практических задач ультразвуковой дефектоскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Mueller. Theory of Photoelasticity in Amorphos Solids. Physics, 1935, 6, 179—184.
2. E. Hiedemann u. K. Hoesch. Schubwellen als optische Gitter. Naturwiss., 1935, **23**, 29, 511—512.
3. M. A. Breazeale a. E. A. Hiedemann. Simple Way to Observe Optical Diffraction Patterns Produced by Shear Waves. J. Acoust. Soc. Amer., 1955, **27**, 6, 1220—1221.

Кафедра акустики
Московского государственного университета

Поступило в редакцию
7 марта 1956 г.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ИЗ ФЕРРИТА НИКЕЛЯ

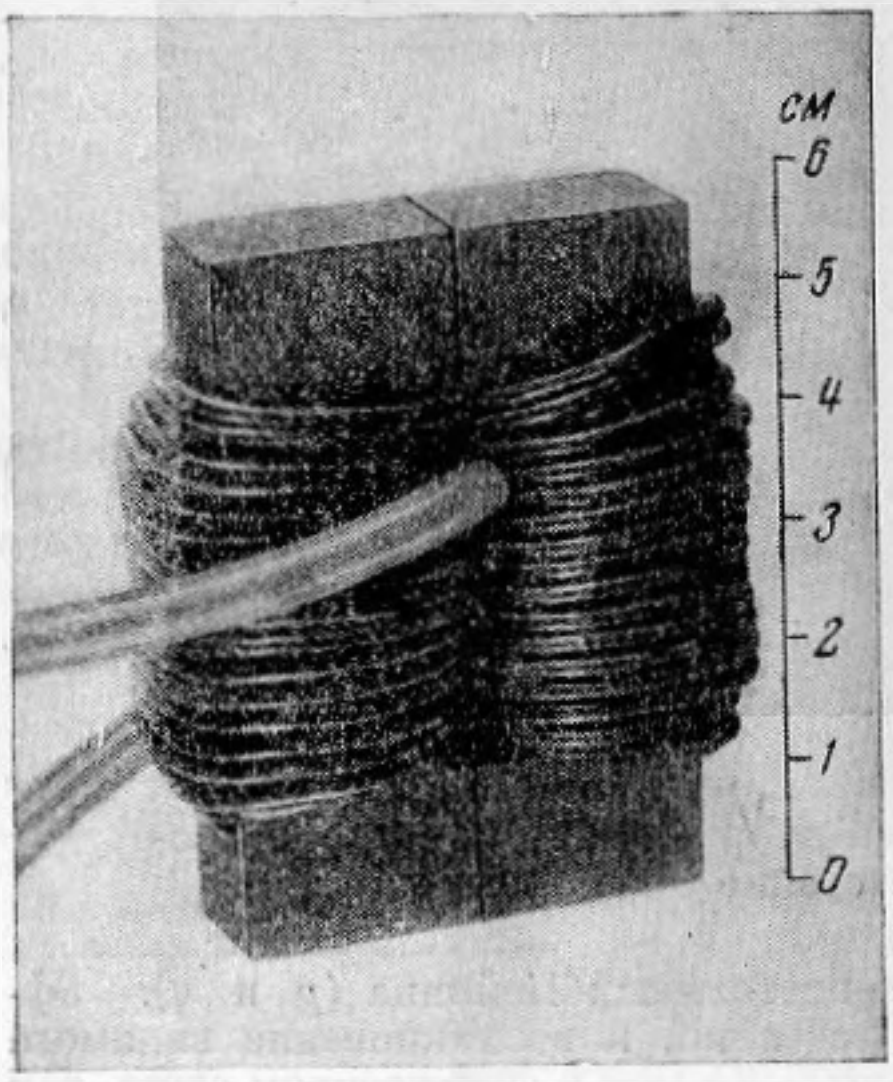
И. П. Голямина

Ферриты, широко известные как высокочастотные магнитные материалы, начинают привлекать к себе внимание и своими магнитострикционными свойствами. В последние годы появился ряд работ по исследованию ферритов как магнитострикцион-

ных резонаторов с целью применения их в радиотехнике для фильтров и стабилизирующих элементов (например, [1], [2]). Возможно также применение их для целей электроакустического преобразования: упоминание об этом содержится в [3] и [4], первая попытка исследования излучателя из коммерческих никель-цинковых ферритов описана в [5]. В последней работе был достигнут к. п. д. излучателя 43%, причем указывается, что ферриты легко разрушались даже при малых потребляемых мощностях, применявшихся при измерениях.

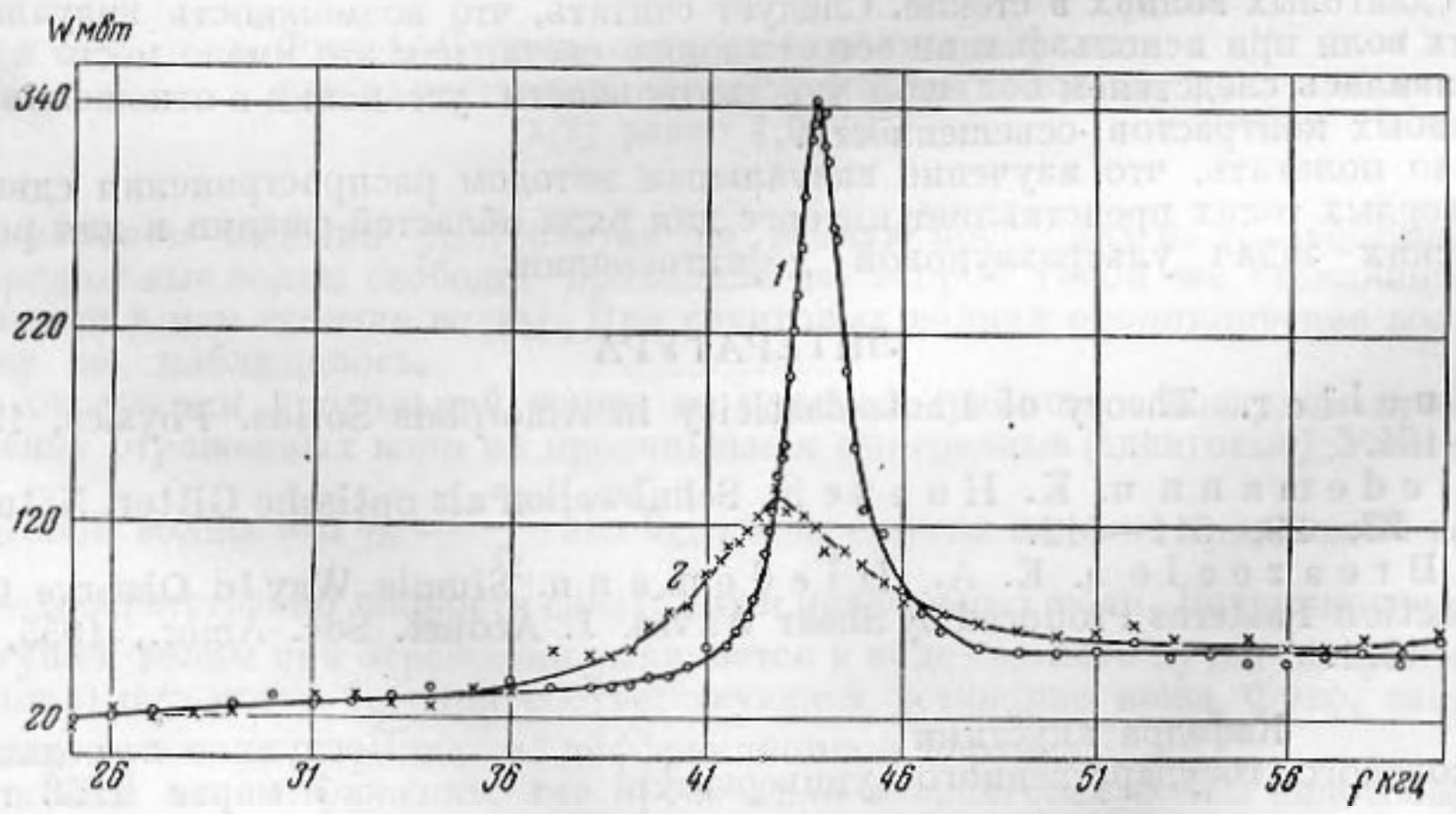
В настоящей работе приведены результаты испытаний излучателя из феррита никеля (см. также [6]). Применение никелевых ферритов (так же как и никель-цинковых с малым содержанием цинка) целесообразно, так как эти ферриты, как известно ([1], [2]), обладают значительной магнитострикцией насыщения, умеренным гистерезисом и коэффициентом магнитомеханической связи, сравнимым с таковым у никеля.

Материалы, изготовлявшиеся для излучателя, исследовались для установления некоторых их механических и электромагнитных параметров. Наибольший к. п. д. имел излучатель из феррита никеля, обладавшего следующими свойствами: удельный вес — 5,0, открытая пористость порядка 1%, начальная магнитная проницаемость — 25, модуль Юнга — $1{,}6\cdot10^{12}$ CGSE, коэффициент Пуассона — 0,34 (последние две величины измерялись резонансным методом), коэрцитивная сила 6 *эрст*, остаточное намагничение — 2300 *гс* (определялись по петле гистерезиса, снятой баллистическим методом), удельное сопротивление — 3 *ком/см*, магнитострикция насыщения — $26\cdot10^{-6}$.



Фиг. 1. Ферритовый излучатель

Внешний вид излучателя представлен на фиг. 1. Сердечник имел простейшую прямоугольную форму и, вследствие технологических трудностей, изготовлялся из двух половин путем склейки, что должно было вызвать некоторое снижение к.п.д. излучателя. Обмотка состояла из 90 витков провода диаметром 0,7 *мм* и служила одновременно для возбуждения колебаний и подмагничивания постоянным током. Излучатель исследовался как резонансный преобразователь на частоте ~43 *кгц* с двухсторонним излучением при различных значениях подмагничивающего тока; величина соответствующего данному току постоянного поля H_0 определялась по индукции, измеренной баллистическим методом, при помощи основной кривой намагничения.

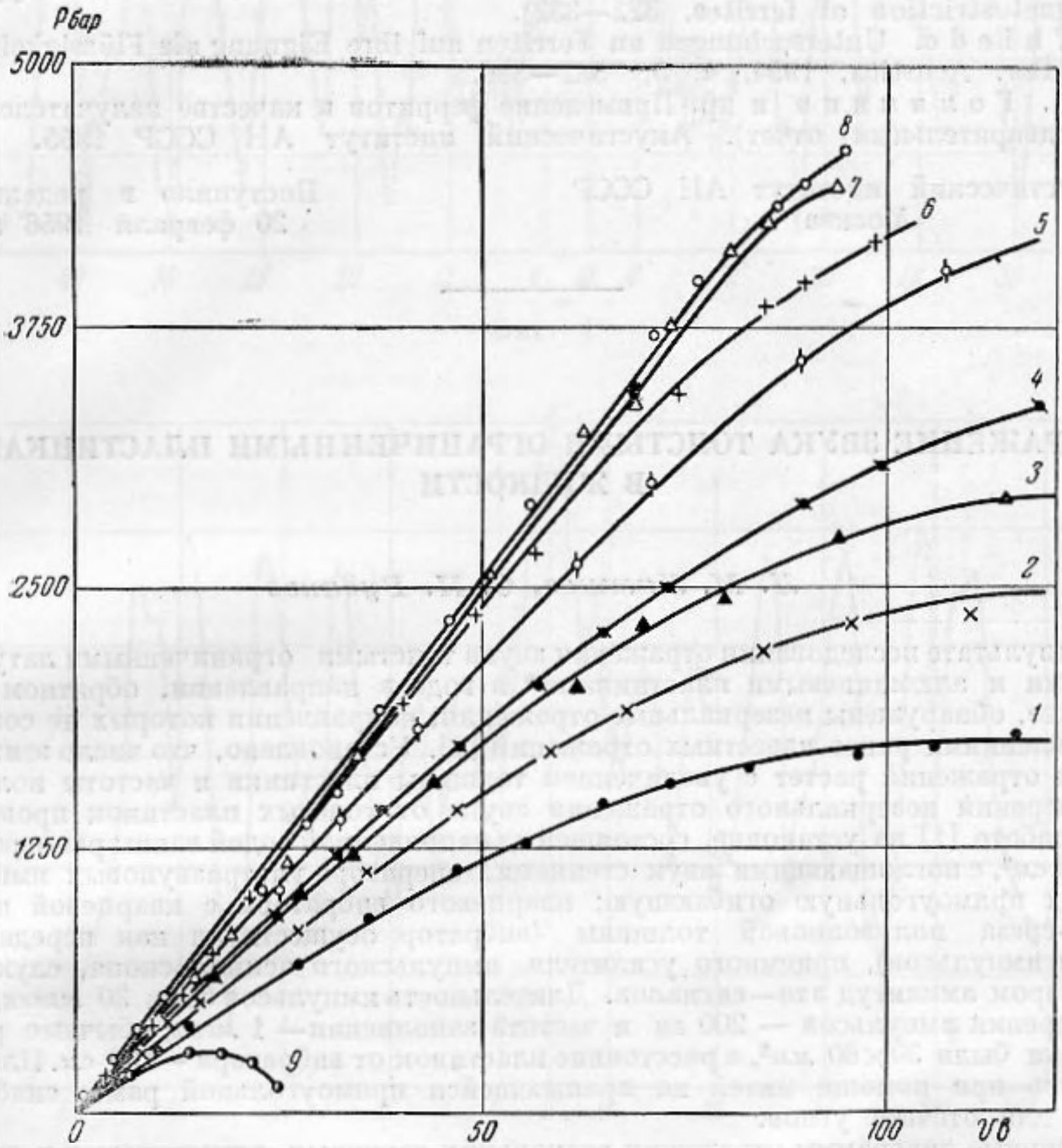


Фиг. 2. Зависимость мощности, потребляемой излучателем, от частоты. $H_0 = 14$ *эрст*; *1* — в воздухе, *2* — в воде

К.п.д. вычислялся известным методом по частотным характеристикам потребляемой излучателем электрической мощности в воде и в воздухе, измеренным при постоянном отношении напряжения к частоте (фиг. 2). Мощность измерялась методом трех вольтметров. Максимальный электроакустический к.п.д. достигался при $H_0 = 14$ *эрст*

(соответствующий ток подмагничивания — 1,7 А) и равнялся 50%, при этом механико-акустический к. п. д. составлял 67%.

Исследовалось также, при помощи калиброванного гидрофона, поле излучателя, работавшего в импульсном режиме. На фиг. 3 представлена зависимость звукового давления p на расстоянии 2,8 *м* в максимуме характеристики направленности от переменного напряжения на излучателе V. Из семейства кривых фиг. 3 видно, что зависимость p от V дольше сохраняет линейный характер при больших значениях H_0, что указывает на существенную роль гистерезисных потерь при работе излучателя. Наблюдаемое при измерениях в воздухе возрастание добротности с увеличением H_0 свидетельствует о заметных потерях на магнитоупругий гистерезис. Оценка потерь на вихревые токи и омических потерь в обмотке излучателя дает пренебрежимо малые значения.



Фиг. 3. Зависимост звукового давления от возбуждающего напряжения на резонансной частоте излучателя. Постоянное поле H_0 в *эрст*. *1* — 2,5, *2*—5, *3*—7, *4*—9, *5*—16, *6*—20, *7*—26, *8*—29, *9* — остаточное намагничение

На величину к.п.д. заметное влияние оказывает плотность черепка. Излучатели, изготовленные из более пористого феррита, с меньшим удельным весом, давали максимальный к.п.д. 42—44%. Повидимому, пористость ведет к увеличению потерь на гистерезис, а также и чисто механических потерь. Максимальная удельная акустическая мощность, определенная по электрическим измерениям на излучателе (предполагалось, что к.п.д., измеренный при малых мощностях, сохраняет свое значение в области линейной зависимости p от V и постоянного импеданца), составляла 3,5—4 *вт/см*^{2}. Достигнутая мощность ограничивалась возможностями питающей схемы. Стабильность работы излучателя в непрерывном режиме испытывалась при постоянном значении потребляемой им мощности, равном 60 *вт*, в течение пяти часов. Показания гидрофона, контролировавшего излучение, оставались неизмененными в течение всего испытания.

Таким образом, можно считать, что ферриты заслуживают внимания в качестве материала для конструирования ультразвуковых излучателей.

Приношу благодарность Н. Н. Андрееву за внимание к работе, а также принимавшим участие в работе В. С. Белеванцеву, В. К. Чулковой, Л. И. Ивановой.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. W. Diethelm. Ferrite als magnetostrictive Resonatoren und ihre Anwendung als Elemente elektrischer Filter. Technische Mitteilungen PTT, 1951, 8, 281—297.
2. Van der Burgt. Dinamical physical parameters of the magnetostrictive excitation of extensional and torsional vibrations in ferrites. Philips Res. Rep., 1953, 8, 2, 91—132.
3. G. Bradfield. Ultrasonic electroacoustics. Acustica, 1954, 4, 1, 171—181.
4. Soft magnetic materials for telecommunications. London, 1954. (P. Popper. The magnetostriction of ferrites, 322—332).
5. H. Thiede. Untersuchungen an Ferriten auf ihre Eignung als Flüssigkeitsschallwandler. Acustica, 1954, 4, 5, 532—536.
6. И. П. Голямина и др. Применение ферритов в качестве излучателей звука (предварительный отчет). Акустический институт АН СССР 1955.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
20 февраля 1956 г.

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА ТОЛСТЫМИ ОГРАНИЧЕННЫМИ ПЛАСТИНКАМИ В ЖИДКОСТИ

Л. М. Лямшев, С. Н. Рудаков

В результате исследования отражения звука толстыми ограниченными латунными, стальными и алюминиевыми пластинками* в воде в направлении, обратном падающей волне, обнаружены незеркальные отражения, направления которых не совпадают с направлениями ранее известных отражений [1]. Установлено, что число этих незеркальных отражений растет с увеличением толщины пластинки и частоты колебаний.

Измерения незеркального отражения звука от толстых пластинок проводились как и в работе [1] на установке, состоящей из наполненной водой ванны размером $200 \times 60 \times 60$ *см*³, с поглощающими звук стенками, генератора ультразвуковых импульсов, имеющих прямоугольную огибающую; кварцевого вибратора с кварцевой пластинкой *X*-среза полуволновой толщины (вибратор осуществлял как передачу, так и прием импульсов), приемного усилителя, импульсного осциллоскопа, служившего индикатором амплитуд эхо—сигналов. Длительность импульсов была 30 *мксек*, частота повторения импульсов — 200 *гц* и частота заполнения— 1 *мггц*; обычные размеры пластинки были 30×60 *мм*², а расстояние пластинок от вибратора —160 *см*. Пластинки крепились при помощи нитей на вращающейся прямоугольной раме, снабженной лимбом для отсчета углов.

Полярные диаграммы отражения нескольких латунных, алюминиевых и стальных пластинок приведены на фиг. 1, 2, 3. В соответствии со сказанным выше, они относятся к отражению в направлении, обратном падающей волне. По вертикальной оси отложена амплитуда отражения в *дб* по отношению к некоторому эталонному уровню, по горизонтальной оси — значение угла падения в градусах. Кружочками показаны измеренные амплитуды отражения.

На фиг. 1 приведена полярная характеристика латунной пластинки толщиной 7 *мм*. Незеркальное отражение наблюдается в области углов падения $\theta = 14, 22, 26, 33, 39, 46°$. Максимум полярной характеристики в области угла падения $\theta = 0°$ соответствует отражению при перепендикулярном падении звуковой волны на пластинку. Полярная характеристика алюминиевой пластинки той же толщины показана на фиг. 2. В этом случае незеркальное отражение наблюдается в области углов падения $\theta = 6, 10, 15, 21, 27, 31°$. Незеркальное отражение звука от стальной пластинки толщиной 5,5 *мм* (фиг. 3) имеет место при углах падения $\theta = 12, 16, 22, 30°$.

Известно, что в упругом слое колебания могут распространяться вдоль слоя с определенными отличными друг от друга скоростями распространения. Величина этих скоростей определяется упругими параметрами слоя и зависит от толщины слоя и частоты колебаний. Каждое колебание, распространяющееся вдоль слоя с одной из скоростей, представляет собой так называемую «нормальную» волну. Можно утверждать, что незеркальное отражение звука от толстой ограниченной пластинки наблюдается всякий раз, когда фазовая скорость падающей звуковой волны в жидкости вдоль пластинки совпадает со скоростью одной из нормальных волн в пластинке (упругом слое).

---

* Подразумеваются пластинки, толщина которых сравнима с длиной продольной волны в материале пластинки или больше нее.