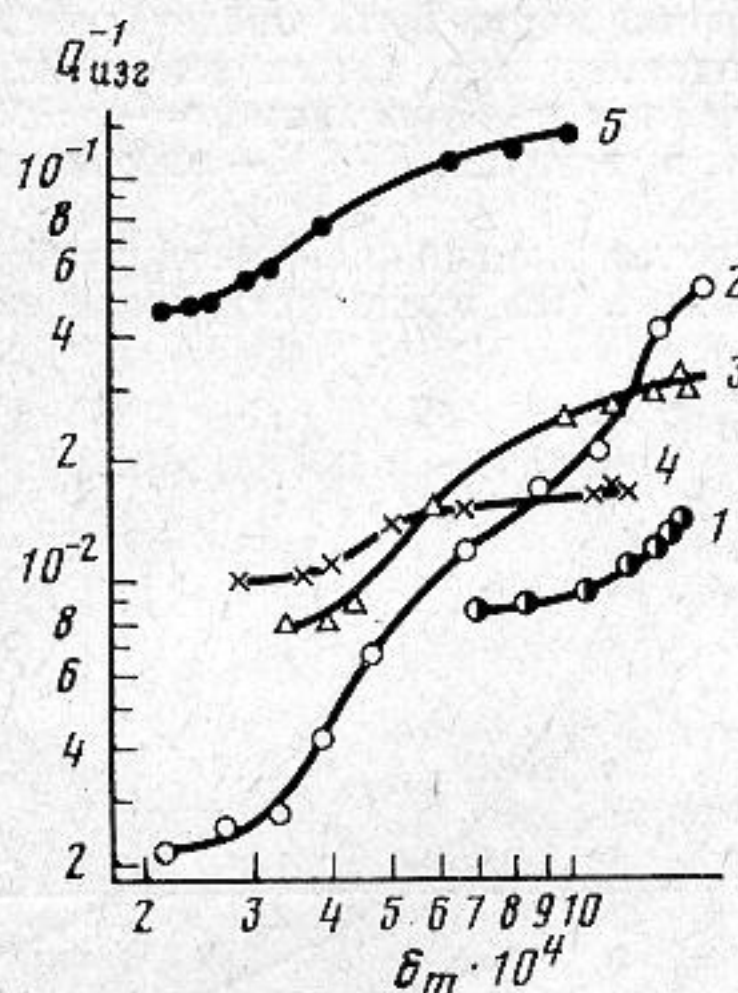
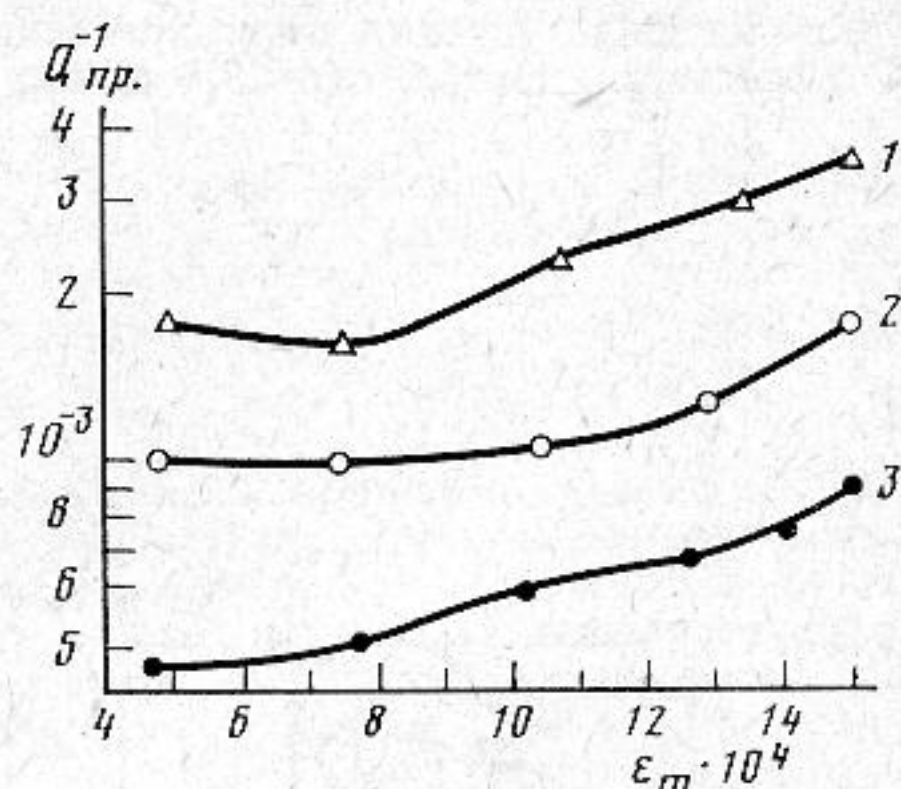


Таким образом, наименьшим поглощением ультразвука при продольных и изгибных колебаниях на низких ультразвуковых частотах ( $\sim 20$  кГц) с амплитудой деформации  $>10^{-3}$  обладает титановый сплав типа ВТ-3-1, который и следует рекомендовать для использования при конструировании ультразвуковых колебатель-



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Зависимость коэффициента внутреннего трения от амплитуды изгибной деформации в титановых сплавах: 1 — сплав ВТ-3-1, 2 — ОТ-4-1, 3 — ВТ-20, 4 — ВТ-5-1, 5 — ВТ-8. Все сплавы отожжены

Фиг. 2. Зависимость коэффициента внутреннего трения от амплитуды деформации при продольных колебаниях в титановых сплавах: 1 — сплав ВТ-8 — отожженный, 2 — ВТ-3-1 — отожженный, 3 — ВТ-3-1 — деформированный

ных устройств различного типа. Небольшая пластическая деформация приводит к уменьшению значения  $Q^{-1}$  в титановых сплавах, и потому для повышения к.п.д. ультразвуковых устройств нужно использовать сплавы именно в деформированном состоянии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цимбалистый Я. И. Амплитудные зависимости рассеяния энергии при высокочастотном циклическом деформировании ферромагнитных и неферромагнитных материалов.— В кн.: Усталостная прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения. Киев. Наукова думка, 1977, с. 69—79.
2. Кулемин А. В. Поглощение мощного ультразвука в металлах и сплавах.— Акуст. ж., 1978, т. 24, № 6, с. 887—892.
3. Кулемин А. В. Внутренние потери в металлах при изгибных ультразвуковых колебаниях большой интенсивности.— Акуст. ж., 1979, т. 25, № 2, с. 258—264.
4. Кулемин А. В. Ультразвук и диффузия в металлах. М.: Металлургия, 1978.

Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина

Поступила в редакцию 15.XI.1979

УДК 534.6.141

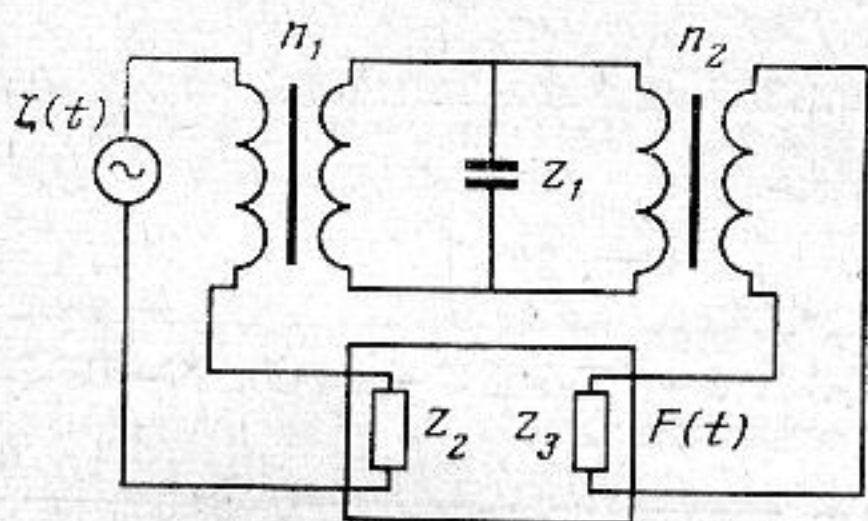
#### ВОЗБУЖДЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ В ПОЛОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕМБРАНЫ

Смердов А. А., Сторчун Е. В.

Кроме широко используемого способа возбуждения колебаний в полости посредством поршня [1, 2], распространение получило применение иного возбуждающего элемента — упругой мембраны, центральная часть которой выполняется жесткой (так называемая мембрана с жестким центром [3], медицинское приборостроение). При анализе такой конструкции амплитуду переменного давления в полости  $p$  естественно представить в виде суммы  $p = p_1 + p_2$ , где  $p_1$  — амплитуда давления, вызванного перемещением жесткого центра,  $p_2$  — вклад в величину  $p$ , обусловлен-

ный движением мембранного полотна. Такое представление  $p$  связано с тем, что входное воздействие приложено к жесткому центру, задавая его перемещение, а  $p_2$  зависит, с одной стороны, от этого перемещения, а с другой — от реакции на него полости  $p_1$ . В случае низкой частоты возбуждения и малых размеров полости, характерных для медицинских устройств, последние могут быть представлены колебательными системами с сосредоточенными параметрами, а импедансы их элементов — упругими составляющими. Тогда в линейном приближении  $p = -\rho c^2 dV/V$ ; здесь  $\rho$  — плотность воздуха,  $c$  — скорость звука в воздухе,  $dV/V$  — относительное изменение объема полости.

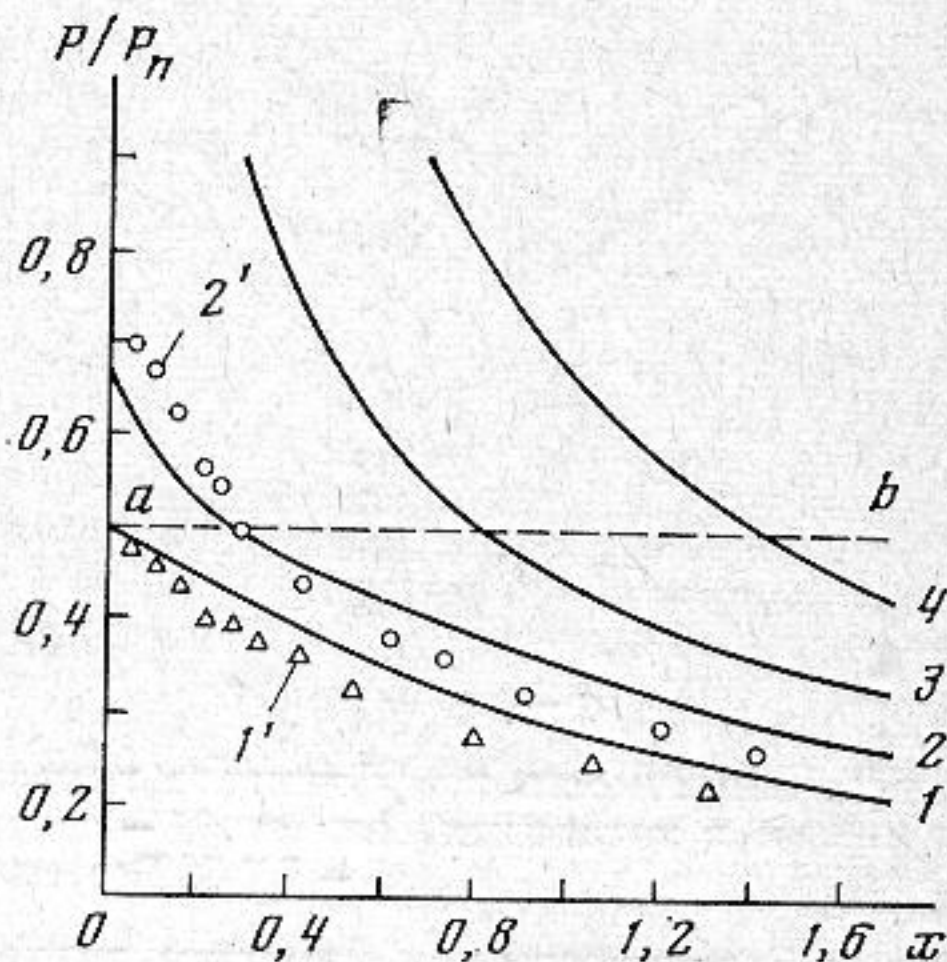
Пусть площадь сечения цилиндрической полости, замыкаемой мембраной, равна  $S$ , а жесткого центра  $\sigma$  ( $\sigma < S$ ); длина полости  $l$ . На входе устройства задано



Фиг. 1

Фиг. 1. Эквивалентная электрическая схема устройства  $Z_1 = S\rho c^2 / i\omega l$ ;  $Z_2 = K_M / i\omega$ ;  $Z_3 = K_{МП} / i\omega$ ;  $F(t)$  — сила, развиваемая мембранным полотном,

$$F(t) = \frac{1}{\alpha} K_{МП} \zeta(t)$$



Фиг. 2

Фиг. 2. Зависимость давления в полости от ее длины при заданном перемещении жесткого центра и  $\delta$ , равных 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8, соответствующих кривым 1–4; 1' — экспериментальная зависимость при  $\delta=0,2$  и 2' — при  $\delta=0,4$ . Штриховая линия соответствует положению  $l_0$

перемещение жесткого центра  $\xi = \xi_0 \exp(i\omega t)$ . В этом случае изменение объема полости  $dV_1$ , связанное с перемещением жесткого центра, равно

$$dV_1 = \frac{K_{МП} l}{(S - \sigma) \rho c^2 + K_{МП} l} \sigma \xi_0 \exp(i\omega t),$$

где  $K_{МП}$  — жесткость мембранного полотна в отношении давления в полости, определяемая при неподвижном жестком центре согласно работе [4]. Величина  $p_1$  запишется в виде

$$(1) \quad p_1 = \rho c^2 \frac{K_{МП}}{(S - \sigma) \rho c^2 + K_{МП} l} \frac{\sigma}{S} \xi_0.$$

В выражении (1) и далее движение внутрь полости считается отрицательным.

На площади мембранного полотна в общем случае задана сила, величина которой определяется его перемещением вслед за жестким центром и существующим давлением в полости  $p_1$ . Обозначив отношение амплитуд перемещений центра мембраны  $\xi_0$  и вызванного им перемещения мембранного полотна  $\xi_{\Pi}$  [2] через  $\alpha$ , а также учитывая, что полотно является источником силы с внутренним импедансом

$\frac{K_{МП} S}{i\omega (S - \sigma)}$ , величина  $p_2$  может быть представлена как

$$(2) \quad p_2 = \rho c^2 \frac{K_{МП}}{(S - \sigma) \rho c^2 + K_{МП} l} \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{S}{\sigma} - 1 \right) - \frac{(S - \sigma) \rho c^2}{(S - \sigma) \rho c^2 + K_{МП} l} \right] \frac{\sigma}{S} \xi_0.$$

Окончательно для  $p$  получим

$$(3) \quad p = \rho c^2 \frac{K_{мп}}{(S-\sigma)\rho c^2 + K_{мп}l} \left[ \frac{K_{мп}l}{(S-\sigma)\rho c^2 + K_{мп}l} + \frac{1}{\alpha} \left( \frac{S}{\sigma} - 1 \right) \right] \frac{\sigma}{S} \zeta_0.$$

Если  $\sigma=S$ , то  $K_{мп} \rightarrow \infty$  (по определению), и из (3) получим  $p = \rho c^2 \zeta_0 / l$ , что соответствует поршневому возбуждению колебаний [1, 2].

Выражение (3) описывает величину  $p$  в цилиндрической полости при ее длине больше некоторого значения  $l_0$ , получаемого из условия равенства нулю зависимости (2), а именно

$$l_0 = (S-\sigma)\rho c^2(1-\beta) / K_{мп}\beta,$$

где  $\beta = (S/\sigma - 1) / \alpha$ . При  $l < l_0$  давление в полости описывается выражением (1). В этом случае вклад мембранного полотна отсутствует. Это объясняет, почему экстремум (3) при  $l_0 = \frac{(S-\sigma)\rho c^2}{K_{мп}} \frac{1-\beta}{1+\beta}$  не имеет физического смысла, так как, оче-

видно,  $l_0 > l_0$ .

Эквивалентная электрическая схема устройства по первой системе аналогий [5] приведена на фиг. 1. Мембрана на ней представлена в виде четырехполюсника, входной импеданс которого определяется жесткостью мембраны  $K_m$  в отношении силы, приложенной к жесткому центру, а выходной —  $K_{мп}$ . Коэффициенты трансформации  $n_1 = \sigma/S$ ,  $n_2 = 1 - \sigma/S$  связаны с пересчетом величин на площадь сечения полости  $S$ . Из фиг. 1 легко получить выражение для входной жесткости устройства  $K_{00}$

$$K_{00} = K_m + \frac{\sigma \rho c^2 \cdot K_{мп}}{(S-\sigma)\rho c^2 + K_{мп}l},$$

которая при  $\sigma=S$  равна  $K_{00} = S\rho c^2 / l$  [2].

Графическая иллюстрация результатов исследования (1) и (3) при  $p_n = \rho c^2 \zeta_0 / \zeta_0$ ,  $l_0 = S\rho c^2 / K_{мп}$ ,  $l = xl_0$ ,  $\delta = \sigma/S$  и  $\alpha = 2$  [4] представлена на фиг. 2. Данные экспериментальной проверки этих зависимостей, приведенные на фиг. 2, соответствуют частным случаям  $\delta_1 = 0,2$  и  $\delta_2 = 0,4$ ,  $l_{01} = (0,018-0,019)$  и  $l_{02} = (0,018-0,028)$  м. В обоих случаях площадь сечения полости была равна  $1,32 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, а изменение  $l_0$  связано с зависимостью  $K_{мп}$  от давления при постоянном перемещении жесткого центра.

Полученные результаты свидетельствуют о разделе различных случаев рассматриваемого устройства линией  $ab$  на две группы. Первая из них соответствует  $l < l_0$ ,

и в ней импеданс мембраны  $\frac{K_{мп}}{i\omega} \cdot \frac{S}{S-\sigma}$  играет роль шунта полости ( $p_2 = 0$ ) во вто-

рой — движение мембранного полотна вносит свой вклад в величину  $p$ . Помимо этого давление в полости растет с увеличением  $\delta$ , а область применимости выражения (1) при этом расширяется.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Харкевич А. А. Примеры технических расчетов в области акустики. Л.: ВЭТА, 1938.
2. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. Изд-во МГУ, 1960.
3. Водяник В. И. Эластичные мембраны. М.: Машиностроение, 1974.
4. Нисневич М. З. Расчет равновесного состояния плоской резиновой мембраны под нормальной нагрузкой. — Каучук и резина, 1972, № 2, с. 35—36.
5. Белов А. И. Составление электрических схем, эквивалентных механическим колебательным системам. — Ж. техн. физ., 1935, т. 5, № 9, с. 1545—1551.

Научно-производственное  
объединение «РЭМА»

Поступила в редакцию  
28.VI.1979

После исправления  
25.VII.1980