

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.222

ПОВЫШЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ НЕЛИНЕЙНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОМОЩЬЮ СЕЛЕКТИВНО ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЗЕРКАЛА

Андреев В. Г., Гусев В. Э., Карабутов А. А., Руденко О. В., Сапожников О. А.

С ростом амплитуды вынужденных колебаний в акустическом резонаторе происходит их нелинейное ограничение за счет перекачки энергии в высшие гармоники, которые сильно диссипируют [1–3]. Добротность резонатора уменьшается. В работах [4, 5] показано, что введение в среду резонансного поглотителя на частоте 2-й гармоники позволяет увеличить расстояние, на которое сигнал распространяется без заметных нелинейных искажений. Аналогичную идею можно использовать для повышения добротности резонатора при больших мощностях накачки [6].

Эксперименты выполнены с открытым резонатором (см. фиг. 1). Держатель излучателя 1 закреплялся в карданном подвесе и имел две степени свободы по углам для точной юстировки параллельности излучателя 2 и зеркала 3. Перемещением зеркала 3 производилась настройка на определенную продольную моду резонатора. Карданный подвес и держатель зеркала 4 соединялись тремя стержнями, что придавало жесткость всей конструкции. Длина резонатора L составляла 15 см. Излучателем служил диск из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 3 см.

Измерения проводились с зеркалами из дюралюминия двух видов. Их отражающая поверхность — часть сферы радиуса 40 см. Толщина неселективного зеркала 2 см. Толщина селективно отражающего зеркала на частоте $\nu \sim 1$ МГц составляла $3\lambda/4$, где λ — длина волны в материале зеркала. Коэффициенты прохождения T и отражения R зеркал на 1-й и 2-й гармониках были измерены экспериментально. Для неселективного зеркала $R \approx 0,98$ и $0,94$, для селективного — $0,99$ и $0,60$.

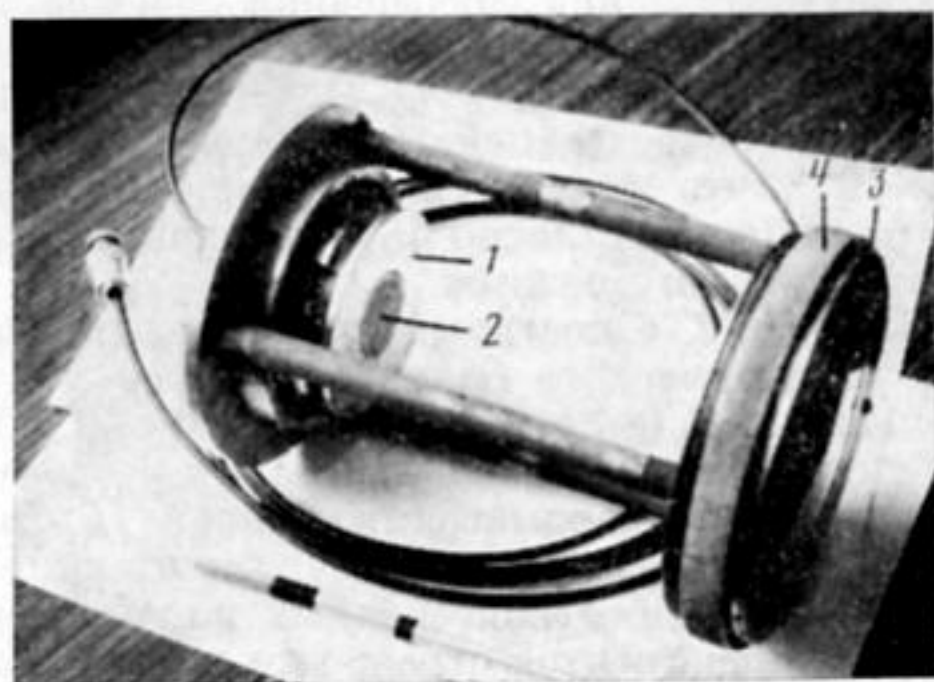
Эксперименты проводились в заглушенном гидробассейне с размерами $2 \times 0,8 \times 0,8$ м³. Гармонический сигнал с синтезатора частот Ч6-31 поступал на усилитель мощности и затем на излучатель 2. Выходящая из резонатора волна принималась широкополосным точечным гидрофоном на расстоянии 3–4 см от зеркала. Сигнал с гидрофона, калиброванного на частотах 1 и 2 МГц, поступал на спектроанализатор С4-25.

Ширина линии резонатора, зависящая от накачки, измерялась по уровню –3 дБ от максимального значения амплитуды волны в центре линии. Измерение уровня накачки проводилось при снятом зеркале. Устанавливалось напряжение на излучателе и измерялось звуковое давление. Положение регулировочного потенциометра фиксировалось. Зависимость ширины линии от накачки снималась при тех же положениях.

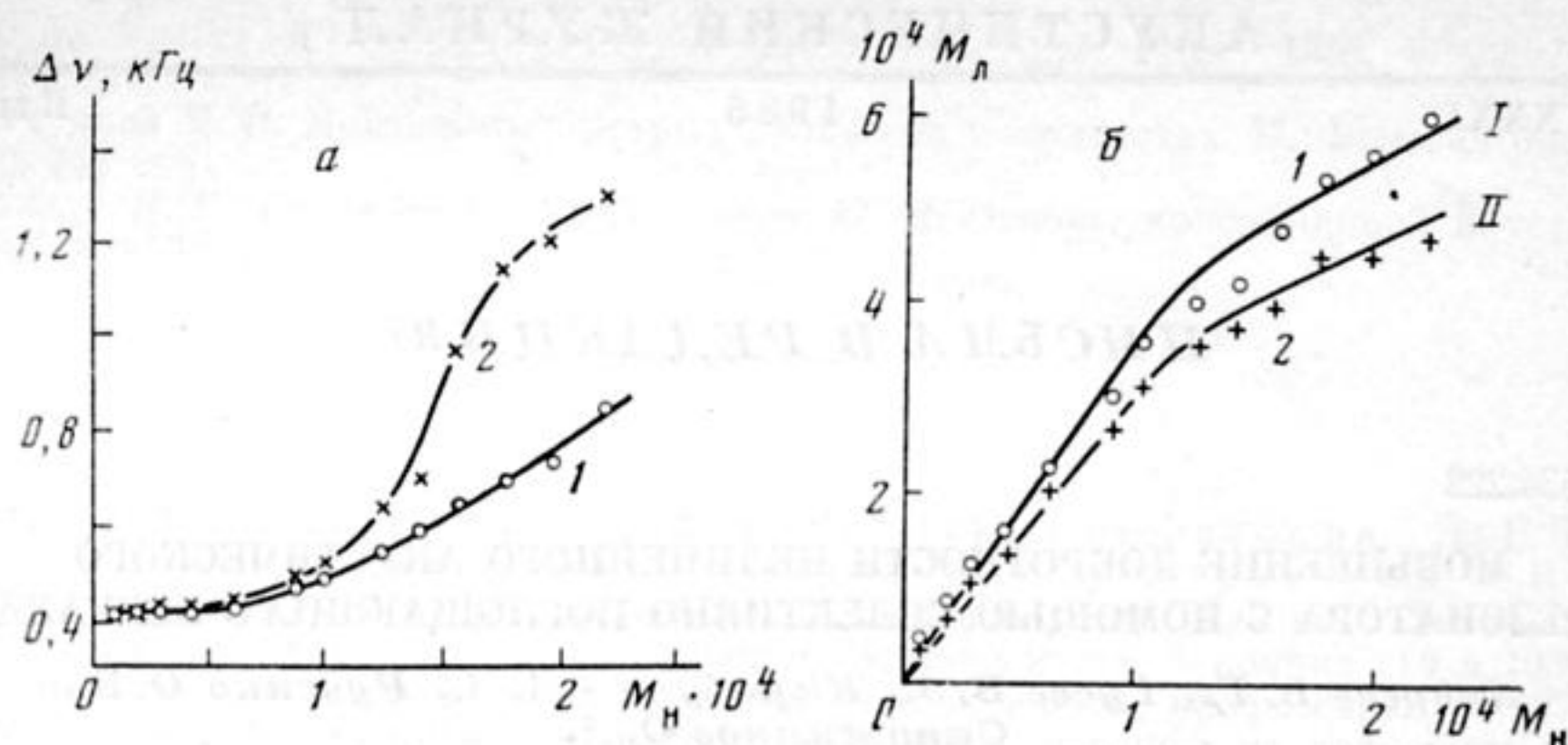
Результаты измерений представлены на фиг. 2, а. При небольших числах Маха в волне накачки ($M_n \approx (0,6 \div 0,8) \cdot 10^{-4}$) ширина линии резонатора не зависит от накачки и определяется диссипативными и дифракционными потерями. При $M_n > 0,6 \cdot 10^{-4}$ ширина линии резонатора с неселективным зеркалом начинает резко возрастать, что свидетельствует о существенном увеличении нелинейных потерь. В резонаторе с селективным зеркалом эта тенденция проявляется гораздо слабее, добротность селективного резонатора выше в 2 раза.

Зависимости чисел Маха 1-й гармоники M_1 внутри резонатора на центральной частоте от уровня накачки представлены на фиг. 2, б. При неселективном зеркале линейный рост волны наблюдается до $M_{n, \text{крит.}} \sim 0,6 \cdot 10^{-4} - 0,8 \cdot 10^{-4}$. Использование селективного «поглотителя» позволило расширить область линейного режима и заметно увеличить амплитуду волны в области нелинейного ограничения ($M_n \sim 2 \cdot 10^{-4}$).

При теоретическом анализе использовалась модель резонатора с одной свободной (излучатель), а другой — жесткой (зеркало) границами. Нелинейные потери «включаются» в таком резонаторе только при таких уровнях накачки, когда в про-



Фиг. 1. Общий вид акустического резонатора



Фиг. 2. *a* — зависимость ширины линии $\Delta\nu$ резонатора от числа Маха накачки: 1 — селективное, 2 — неселективное зеркала; *б* — зависимость числа Маха 1-й гармоники от числа Маха накачки ($\nu_0 = 1$ МГц): 1 — селективное, 2 — неселективное зеркала; кривые I, II — теоретические зависимости

филе волны разрыв образуется при одном пробеге резонатора [2]: $l_p \leq 2L$, где $l_p = c_0/2\pi\nu M_1$ — длина образования разрыва, c_0 , ν — скорость звука и нелинейный параметр воды. На границе линейного режима по результатам эксперимента можно оценить $M_1 \sim M_n/\gamma_{\text{лин}}$, где $(\gamma_{\text{лин}})^{-1}$ — тангенс наклона линейного участка на фиг. 2, б; он характеризует линейные потери в резонаторе. Тогда условие $l_p \leq 2L$ дает $M_{n, \text{крит}} \sim \sim 0,7 \cdot 10^{-4}$, что согласуется с данными эксперимента. Дополнительное поглощение 2-й гармоники, согласно [5], увеличивает l_p и тем самым расширяет область реализации линейного режима.

На фиг. 2, б построены зависимости, полученные с помощью модельного уравнения энергетического баланса, которое учитывает рост нелинейных потерь по мере уменьшения $l_p(\gamma_1, \gamma_2)$ по сравнению с $2L$. Подчеркнем, что в отличие от [2, 7] в данной ситуации разрывные колебания не возникают сразу во всем резонаторе (ср. [1]). Подгоночными параметрами кривой II были коэффициенты линейных потерь [6] первой ($\gamma_1 = \gamma_{\text{лин}}$) и второй (γ_2) гармоник. Кривая I для случая селективного зеркала строилась уже без подгоночных параметров: полагаем, что $\gamma_{i, \text{сел}} = \gamma_i - \Delta R_i$, где изменения коэффициентов отражения зеркала на частотах 1-й и 2-й гармоник ΔR_i ($i=1, 2$) определялись экспериментально.

Выделим основной результат исследований: введением дополнительного селективного «поглотителя» 2-й гармоники повышена добротность нелинейного акустического резонатора. Таким образом, получено прямое экспериментальное подтверждение возможности управления процессами нелинейной перекачки энергии в системах, обладающих селективным поглощением на специально выбранных частотах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарипов Р. Г. Нелинейные колебания газа в открытой трубе. — Акуст. журн. 1977, т. 23, № 3, с. 378–382.
2. Островский Л. А. О разрывных колебаниях в акустическом резонаторе — Акуст. журн. 1974, т. 20, № 1, с. 140–142.
3. Канер В. В., Карабутов А. А., Руденко О. В. Нелинейные эффекты в акустических резонаторах. — В кн.: Нелинейная акустика / Под ред. Зверева В. А., Островского Л. А. Горький: Изд. ИПФ АН СССР, 1980, с. 98–107.
4. Андреев В. Г., Руденко О. В. Об одном способе подавления нелинейных искажений и эффективного удвоения частоты интенсивной звуковой волны. — Докл. X Всесоюз. акуст. конф. секц. Б. М.: АКИН, 1983.
5. Руденко О. В. К проблеме искусственных нелинейных сред с резонансным поглотителем. — Акуст. журн. 1983, т. 29, № 3, с. 398–402.
6. Гусев В. Э. Частотно-избирательное воздействие на нелинейные волны в акустическом резонаторе. — Вестник Моск. ун-та, сер. физ., астроф., 1984, т. 25, № 6, с. 28–33.
7. Гусев В. Э. Установление вынужденных колебаний в акустических резонаторах. — Акуст. журн. 1984, т. 30, № 2, с. 204–212.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило в редакцию
28.XI.1984