

М. Г. Сиротюк

О МЕХАНИЗМЕ «ЗВУКОКАПИЛЛЯРНОГО ЭФФЕКТА»

Обнаруженный в 70-х годах «звукочапиллярный эффект» [1] — аномально большое поднятие жидкости в капиллярах при кавитации — до сих пор не имеет ясного физического объяснения. Из разнообразных гипотез [2], предложенных для объяснения этого явления, наиболее распространено предположение о повышении среднего давления у устья капилляра. При кавитации в отрицательный полупериод акустической волны жидкость разрывается при давлении, близком к атмосферному (порог кавитации); между тем захлопывание кавитационных пузырьков в стадии положительного полупериода сопровождается импульсами давления весьма большой величины. Поэтому среднее за период давление в жидкости оказывается выше атмосферного, что и вызывает ее подъем в капилляре.

Если бы это было только так, то уровень подъема жидкости в капилляре не зависел бы от угла его наклона. Однако уровень подъема жидкости увеличивается в несколько раз, когда капилляр перпендикулярен к плоскости излучателя. Это свидетельствует о том, что на подъем жидкости в основном влияют направленные постоянные потоки, которые всегда сопровождают кавитацию, так как в них преобразуется акустическая энергия, затраченная на образование самой кавитации [3].

При распространении акустической волны из-за поглощения энергии в среде образуется градиент плотности энергии, вызывающий силу $F = dE/dx$ (x — координата в направлении распространения), которая создает постоянные потоки. При этом не имеет значения конкретный механизм поглощения энергии: затухание звука, убыль акустической энергии, связанная с образованием кавитации, или иные потери. В любом случае из закона сохранения количества движения следует, что при распространении акустической волны сумма плотности энергии акустического поля и кинетической энергии потока есть величина постоянная [4]. Именно эта сумма обычно измеряется радиометром. Средняя сила F , действующая на радиометр, состоит из двух составляющих $F = F_p + F_n = IS/c = P/c$, где F_p — сила, обусловленная энергией акустического поля в плоскости радиометра (радиационное давление), F_n — сила, связанная с потоком жидкости в плоскости радиометра, I — интенсивность звука, c — скорость распространения звука, P — акустическая мощность, улавливаемая радиометром, S — его площадь.

Если радиометром перехватить всю излучаемую энергию, можно измерить суммарную энергию акустической волны и потока, а если перед ним поместить тонкую звукопрозрачную пленку для изоляции от постоянного потока, то его показания будут соответствовать энергии оставшейся звуковой волны. Такими измерениями, например, можно найти баланс акустической энергии при наличии кавитации [3]. Энергия потоков, возникающих при кавитации, при интенсивностях звука, обычно применяемых в ультразвуковой технологии (1,5–3 Вт/см²), может составлять десятки процентов от общей энергии, излучаемой преобразователем [3] (именно они создают «поднятие» жидкости над зоной кавитации — хорошо известный экспериментаторам «бурун»).

Доказательством тому, что жидкость в капиллярах поднимается под действием направленного потока, служат выполненные автором эксперименты, в которых между капиллярами, где наблюдается «звукочапиллярный эффект», и зоной кавитации помещалась тонкая полиэтиленовая звукопрозрачная пленка, отсекавшая направленные потоки жидкости, при этом подъема жидкости в капиллярах уже не наблюдалось. Эксперименты проводились с разными капиллярами и капиллярными системами: стеклянными трубками диаметром 0,3–5 мм установленными над зоной кавитации, в которых высота подъема воды доходила до 0,5 м; промышленными стеклянными фильтрами (№ 2, 3, 4) со средним диаметром пор 45, 25 и 7 мкм; металлическими сетками с размером ячеек от 2 мм до 20 мкм, являющимися дном цилиндра и т. д. Во всех случаях помещение тонкой звукопрозрачной пленки, отсекавшей гидродинамические потоки жидкости, приводило к исчезновению звукочапиллярного эффекта.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что «звукочапиллярный эффект» происходит в основном под действием направленных потоков жидкости, образующихся при кавитации. Именно эти потоки способствуют процессам пропитки, очистки, резанья, травления, диспергирования и другим технологическим ультразвуковым процессам, протекающим при кавитации или пульсациях газовых пузырьков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звукокапиллярный эффект. Ультразвук, маленькая энциклопедия/Под ред. Голяминой И. П. М.: Энциклопедия, 1987. 400 с.
2. Агранат Б. А., Дубровин М. Н., Хавский Н. Н. и др. Основы физики и техники ультразвука. Учебн. пособие для вузов/М.: Высш. шк., 1987. 352 с.
3. Сиротюк М. Г. Баланс энергии звукового поля при наличии кавитации // Акуст. журн. 1964. Т. 10. С. 464-469.
4. *Bognis F. E.* On the forces due to acoustic wave use in the measurement of acoustic intensity // *J. Acoust. Soc. Amer.* 1953. V. 25. № 3. P. 546-548.

Акустический институт
им. Н. Н. Андреева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
28.11.89