

Измерение производительности акустического фонтана

И. И. Конопацкая, М. А. Миронов, П. А. Пятаков, В. О. Фатеев*

Акустический институт имени академика Н. Н. Андреева. Россия, 117036, Москва, ул. Шверника, д. 4

(Статья поступила 03.07.2017; Подписана в печать 12.09.2017)

Измерена производительность (объемная скорость) акустического фонтана и показано, что производительность пропорциональна акустической мощности. Определен коэффициент пропорциональности.

PACS: 43.25.+y

УДК: 534.221

Ключевые слова: фокусируемый ультразвук, акустический фонтан.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в безграничной жидкой среде под действием ультразвука возникает акустическое течение [1]. Если же ультразвук падает на границу раздела двух жидкостей или жидкость–газ, возникает акустический фонтан [2]. Строго говоря, сам термин «акустический фонтан» является неопределенным, поскольку, в зависимости от типа используемой жидкости и положения области концентрации ультразвука относительно границы раздела жидкость–газ, струя может сопровождаться разбрызгиванием мелких капель (диаметром меньше толщины основной струи), отрывом крупных капель от верхней части фонтана или образованием тумана.

В данной работе акустический фонтан рассматривается как неразрывная струя жидкости, а на долю сопровождающих явлений приходится не более 2% от общего объема задействованной жидкости. По нашим сведениям, на данный момент не существует теоретического описания процесса образования или дальнейшего поведения акустического фонтана, а экспериментов по измерению его производительности не проводилось. Процесс же туманообразования вызывал интерес ученых в прошлом веке и продолжает вызывать интерес по сей день. Некоторые экспериментальные исследования этого процесса можно найти в [3–6]. В настоящей работе представлены экспериментально полученные результаты измерения производительности акустического фонтана, создаваемого фокусируемым ультразвуковым излучателем при различных акустических мощностях и разных наклонах оси фонтана к поверхности раздела вода–воздух.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент проводился в бассейне, заполненном отстоявшейся водопроводной водой комнатной температуры. Фокусирующий излучатель располагался таким образом, что геометрический центр фокальной области оказывался на границе раздела жидкость–

газ. Экспериментальная установка позволяла изменять угол наклона излучателя (и, соответственно, струи фонтана) к горизонтали φ в диапазоне $35^\circ < \varphi < 50^\circ$. На пути струи фонтана размещалась сборная емкость. Уровень воды устанавливался значительно ниже уровня кромки сборной емкости и поддерживался постоянным на протяжении всего эксперимента. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Измерение объема забранной фонтаном воды за фиксированное время позволяло определить величину производительности.

Основные характеристики использованных в эксперименте фокусирующих излучателей приведены в таблице:

Таблица I:

Частота, МГц	Диаметр, мм	Фокусное расстояние, мм	Угол раскрытия, град
0.55	64	68	27°
0.91	65	69	27°

Контроль акустической мощности производился стандартным радиометрическим методом [7].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперименты показали, что производительность слабо зависит от угла выхода фонтана. На рис. 2 показана зависимость величины производительности от величины акустической мощности, полученная для излучателя с частотой 0.91 МГц для угла наклона $45^\circ.0.5$

Производительность ультразвукового фонтана Q оказывается пропорциональной мощности звука W :

$$Q = K \cdot W$$

Усредненное по всему диапазону исследованных углов значение коэффициента K оказывается равным $K \approx 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1} \text{ Вт}^{-1}$. Если перейти от мощности звука W к амплитуде колебательной скорости $u = \sqrt{2W/\rho c S}$ и от объемной скорости Q

*E-mail: vasilfateev@mail.ru

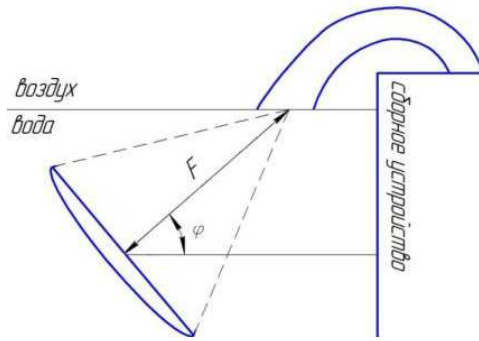


Рис. 1: Схема установки. F — фокальное расстояние излучателя, φ — угол наклона излучателя

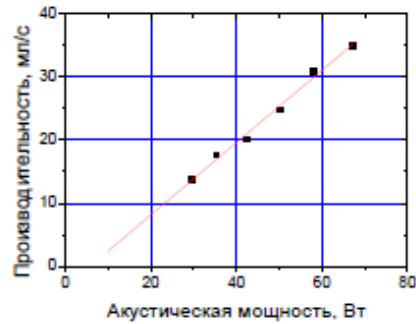


Рис. 2: Зависимость величины производительности акустического фонтана от величины акустической мощности излучателя на частоте 0.91 МГц

к линейной скорости $U = Q/S$ (S — площадь поперечного сечения фокальной области, ρ — плотность воды, c — скорость звука в воде), то получим следующую связь линейной скорости в струе и амплитуды колебательной скорости в фокальной области:

$$U = K \cdot \rho c u^2 / 2 \approx (3/8) \cdot u^2.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение производительности акустического фонтана, создаваемого фокусированным излучателем ультразвука, показало линейность зависимости производительности фонтана от акустической мощности и независимость производительности фонтана от угла наклона оси излучателя относительно границы раздела.

[1] Ниборг В. Акустические течения. / Физическая акустика / Под ред. У. Мэзона. М.: Мир, 1969. 2, ч. Б.
[2] Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. / Под ред. В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга, изд. 2. М.: иностранная литература, 1957.
[3] Экнадиосянц О. К. Получение аэрозолей. / Физика и техника мощного ультразвука. 3. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. Л. Д. Розенберга, ч. V. М.: Наука, 1970.

[4] Сорокин В. И. Акуст. журн. 1957. 3, вып. 3. С. 262.
[5] Lang R. J. J. Acoust. Soc. Am. 1962. 34. P. 6.
[6] Simon J. C., Sapozhnikov O. A., Khokhlova V. A., Crum L. A., Bailey M. R. J. Fluid Mec. 2015. 766. P. 129.
[7] Национальный стандарт РФ «Мощность ультразвука в жидкостях. Общие требования к методикам измерений в диапазоне частот от 0.5 до 25 МГц» (утвержден и введен в действие 15.12.2009 № 1040).

Ultrasonic fountain's flow rate measuring

I. I. Konopatskaya, M. A. Mironov, P. A. Pyatakov, V. O. Fateev^a

¹Andreyev Acoustics Institute, Moscow 117036, Russia

E-mail: ^avasilfateev@mail.ru

The flow rate (volume velocity) of the acoustic fountain forced by focused transducer, is measured. It is shown that the flow rate is proportional to the acoustic power, radiated by transducer. The coefficient of proportionality is determined.

PACS: 43.25.+y

Keywords: focused ultrasound, ultrasonic fountain.

Received 03 July 2017.

Сведения об авторах

1. Конопацкая Ирина Ивановна — ст. науч. сотрудник; e-mail: ikonopatskaya@gmail.com.
2. Миронов Михаил Арсеньевич — канд. физ.-мат. наук, нач. теоретического отдела; e-mail: mironov_ma@mail.ru.
3. Пятаков Павел Александрович — канд. физ.-мат. наук, нач. отдела; e-mail: ppyatakov@mail.ru.
4. Фатеев Василий Олегович — науч. сотрудник; e-mail: vasilfateev@mail.ru.