

УДК 532.529:534.2

ОСОБЕННОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ АЭРОЗОЛЯ В ЗАКРЫТОЙ ТРУБЕ В БЕЗУДАРНО-ВОЛНОВОМ РЕЖИМЕ

© 2011 г.

Л.А. Ткаченко, Р.Г. Зарипов

Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН

Luda_tkachenko@inbox.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Экспериментально исследованы особенности продольных нелинейных колебаний мелкодисперсного аэрозоля в закрытой трубе в безударно-волновом режиме вблизи первой собственной частоты. Наблюдаемая резонансная частота совпадает с частотой, рассчитанной по нелинейной теории для однородного газа с учетом поглощения. Изучено влияние интенсивности колебаний, обусловленных увеличением амплитуды, на время коагуляции и осаждения аэрозоля.

Ключевые слова: аэрозоль, нелинейные колебания, коагуляция и осаждение, резонанс.

Введение

В различных установках и аппаратах энергомашиностроения встречаются трубопроводные системы конечной длины с покоящейся или движущейся рабочей однородной и гетерогенной средой, например аэрозолями. Исследование волновой динамики в таких средах вблизи резонансных частот представляет значительный интерес. Анализ работ по колебаниям однородного газа в трубах с сильнонелинейными фронтами волн посвящен обзор [1]. Один из способов по подавлению аэрозолей, особенно в замкнутых объемах, – акустическая коагуляция и их осаждение. Результаты по акустической коагуляции и осаждению капель или частиц аэрозолей подробно приведены в монографии [2]. Результаты таких исследований могут быть использованы во многих отраслях промышленности, энергетике и экологии, а также при решении фундаментальных проблем аэрогидромеханики. Поведение аэрозоля при их нелинейных колебаниях в трубах в основном исследовалось в ударно-волновом режиме вблизи резонансных частот [3–6]. Режим безударно-волнового течения, когда пристеночные потери становятся существенными, является недостаточно изученным.

Цель настоящей работы – выявление особенностей нелинейных колебаний мелкодисперсного аэрозоля в закрытой трубе в безударно-волновом режиме вблизи первой собственной частоты.

Экспериментальная установка

Экспериментальные исследования проводились на установке, принципиальная схема кото-

рой представлена на рис. 1.

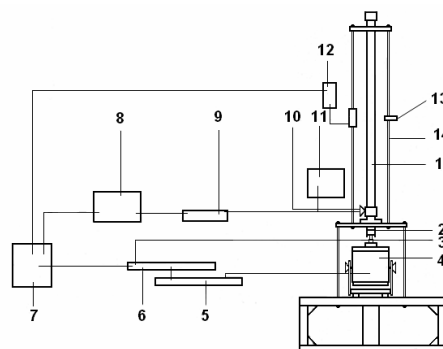


Рис. 1

Продольные установившиеся колебания газа в стеклянной, кварцевой трубе 1 длиной 1.06 м и внутренним диаметром 0.0365 м создавались плоским поршнем 2. Он приводился в движение вибростендом 4 TIRAvib 51075 с усилителем мощности 5, работающим в диапазоне частот 2–7000 Гц с максимальным размахом виброперемещения 0.01 м. Синусоидальные колебания с заданными значениями амплитуды и частоты осуществлялись при помощи программного модуля SineVIEW (VR610), установленного на компьютер 7, посредством пьезоэлектрического акселерометра 3 и контроллера 6 Vibration Research. Система измерения давления газа состояла из датчика давления 10 модели 8530C-15 (BRUEL & KJAER), размещенного вблизи поршня, трехканального мостового усилителя напряжения 9 марки ENDEVCO-136, цифрового осциллографа 8 марки DSO 3062A. Для измерения светопрозрачности использовался измерительный комплекс, состоящий из лазера 13 с длиной волны 630 нм и мощностью 0.16 Вт, ко-

торый являлся источником света и цифрового люксметра 12 марки АТТ-1505. Светочувствительный датчик люксметра и источник света закреплялись на растяжках 14 так, чтобы луч света проходил перпендикулярно через середину трубы, то есть через узел стоячей волны давления, и попадал в центр датчика. В качестве рабочей жидкости в данных экспериментах использовался диэтил-гексил-себокат $C_{26}H_{50}O_4$, аэрозоль из нее создавался при помощи аэрозольного генератора 11 модели АТМ 225 (ТОPAS). Размер полученных капель аэрозоля в большинстве составлял 0.83 мкм.

Экспериментальные результаты

Осциллограммы показали, что эпюры давления однородного газа во времени имеют непрерывный характер (рис. 2). На резонансной частоте фронт сжатия в форме волны давления по времени меньше, чем фронт разрежения. Из построенных амплитудно-частотных характеристик для давления газа вблизи первой собственной частоты возбуждения видно, что наблюдаемая резонансная частота ν_1^* имеет меньшее значение, чем рассчитанная по линейной теории акустики. Расчеты резонансной частоты по нелинейной теории с учетом поглощения для данных условий экспериментов показали хорошее совпадение с частотой ν_1^* .

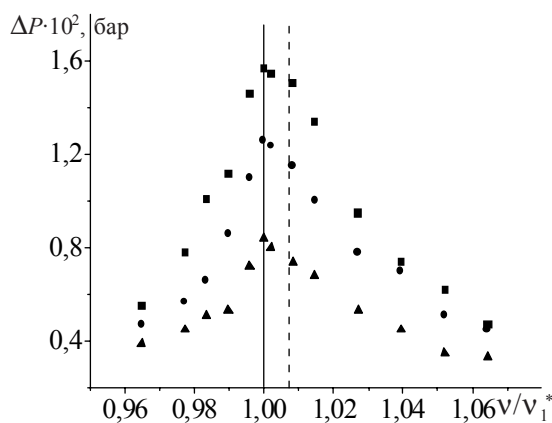


Рис. 2

При колебаниях аэрозоля осуществлялся замер его светопрозрачности при различных амплитудах и частотах возбуждения. Получены зависимости числовой концентрации капель аэрозоля от времени. На малых амплитудах концентрация монотонно убывает со временем, а увеличение амплитуды возбуждения колебаний поршня ведет

к ее ускоренному убыванию. При наличии колебаний время коагуляции и осаждения капель в 2-4 раза ниже, чем при естественном осаждении. Осаждение капель аэрозоля на стенках связано с движением двух тороидальных вихрей, расположенных в нижней и верхней половинах трубы. С увеличением интенсивности колебаний, обусловленных увеличением амплитуды возбуждения, время коагуляции и осаждения аэрозоля уменьшается (рис. 3).

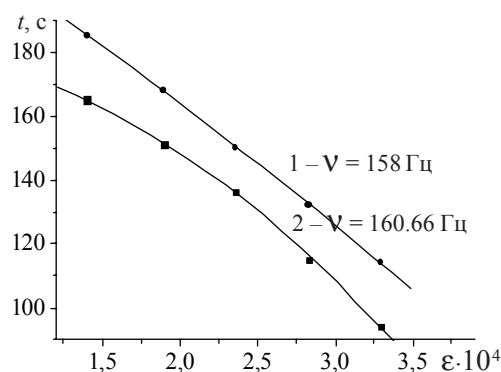


Рис. 3

Работа выполнена при финансовом содействии Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ РФ (гранты МК-1316.2010.1 и НШ-4381.2010.1), по программе ОЭММПУ РАН (№ 14 ОЭ), при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-01-00098) и в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (гос. контракт №14.740.11.0351).

Список литературы

1. Ilgamov M.A., Zaripov R.G., Galiullin R.G., Repin V.B. Nonlinear oscillations of a gas in a tube // Appl. Mech. Rev. 1996. V. 49, No 3. P. 137–154.
2. Медников Е.П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 263 с.
3. Гуляев А.М., Кузнецов В.М. Коагуляция аэрозолей под действием периодических ударных волн // Акустический журн. 1962. Т. 8, №4. С. 473–475.
4. Temkin S. Droplet agglomeration induced by weak shock waves // Phys. Fluids. 1970. V. 13. P. 1639–1641.
5. Shuster K., Fichman M, Goldshtein A., Gutfinger C. Agglomeration of submicrometer particles in weak periodic shock waves // Physic Fluids. 2002. V. 14, No 5. P. 1802–1805.
6. Губайдуллин Д.А. и др. Экспериментальное исследование коагуляции аэрозоля в трубе вблизи субгармонического резонанса // Теплофизика высоких температур. 2004. Т. 42. С. 788–795.

**SPECIAL PROPERTIES OF NONLINEAR OSCILLATIONS OF AN AEROSOL
IN A CLOSED TUBE IN A SHOCK-FREE MODE**

L.A. Tkachenko, R.G. Zaripov

Special properties of longitudinal nonlinear oscillations of a small-dispersible aerosol in a closed tube in a no shock-wave mode near to the first natural frequency are experimentally investigated. The observed resonance frequency coincides with the frequency calculated using the nonlinear theory for a simple gas accounting for dissipation. The influence of intensity of the oscillations, by the caused increase of amplitude, on the time of coagulation and deposition of an aerosol is investigated.

Keywords: aerosol, nonlinear oscillations, coagulation and deposition, resonance.