

ОБЪЁМНАЯ ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ И СУСПЕНЗИЙ

Пряжников М.И., Минаков А.В.*

СФУ, Красноярск, Россия

**arrivent@yandex.ru*

Объемная вязкость (иногда называемая второй вязкостью) является характеристикой процесса диссипации энергии при объемных деформациях среды. Упоминание об объемной вязкости можно найти, например, в книге по гидродинамике Ландау [1]. Как отмечают в Хаппель и Бреннер [2], объемная вязкость важна в случаях, в которых жидкость подвержена действию быстропеременных сил, как, например, при ультразвуковых колебаниях. Исследованию динамической вязкости сред в свое время было уделено очень много внимания, в то время как данных по объемной вязкости даже чистых жидкостей практически нет.

Для ньютоновских жидкостей коэффициент поглощения α пропорционален так называемой продольной вязкости η_{long} , которая складывается из динамической вязкости η_{shear} и объёмной вязкости η_{vol} :

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho V^3} \eta_{long} = \frac{\omega^2}{2\rho V^3} \left[\frac{4}{3} \eta_{vol} + \eta_{vol} \right]$$

где V — скорость звука, ρ — плотность жидкости, ω — частота излучения.

В данной работе при помощи акустической спектроскопии проведено систематическое экспериментальное исследование зависимости объёмной вязкости воды и этиленгликоля от температуры, а также водных суспензий от концентрации и размера наночастиц SiO_2 и Al_2O_3 . Помимо этого получены данные о коэффициенте поглощения ультразвука, а также скорость звука в жидкостях.

Использовались дистиллированная вода, этиленгликоль (ос.ч.) Также использовались суспензии наночастиц, приготовленные на основе дистиллированной воды. В качестве наночастиц были рассмотрены наночастицы оксидов кремния и алюминия разных размеров. Массовая концентрация наночастиц варьировалась от 0.025 до 50 %, а их размер от 18 до 108 нм.

Скорость звука и спектр его коэффициента поглощения измеряли при помощи акустического и электроакустического спектрометра DT1202 (Dispersion Technologies). Данный прибор предназначен для характеристики дисперсий в широком диапазоне массовой концентрации частиц (0.1÷60 %). Акустический сенсор прибора измеряет коэффициент затухание ультразвука (0÷20 ± 0.01 дБ см⁻¹ МГц⁻¹) в

широком динамическом диапазоне частот (от 1 до 100 МГц), а также скорость звука. В спектрометре имеется камера, в которой расположены излучатель ультразвуковых волн и приемник ультразвукового сигнала. Камера заполняется исследуемой жидкостью, в которой происходит распространение ультразвука от излучателя к приемнику. При этом ультразвуковые волны испытывают рассеяние на частицах, что приводит к изменениям в спектре ультразвукового сигнала, которое фиксируется прибором.

Измерение коэффициента сдвиговой вязкости жидкости проводилось с помощью ротационного вискозиметра Brookfield DV2T. Во всех рассмотренных случаях осуществлялось измерение зависимости коэффициента вязкости от скорости сдвига. В процессе измерения контролировалась температура. Температура исследуемой жидкости варьировалась от 10 до 40°C.

Получены корреляции, описывающие зависимость объёмной, сдвиговой и продольной вязкости воды и этиленгликоля от температуры. Проведено определение объёмной вязкости суспензий наночастиц. Показано, что коэффициент объёмной вязкости суспензий возрастает с увеличением концентрации наночастиц [3]. При этом при низких концентрациях наночастиц коэффициент затухания, как правило, не зависит от частоты излучения. При увеличении концентрации наночастиц такая зависимость появляется. С увеличением частоты объёмная вязкость наносуспензий снижается.

Исследована зависимость объёмной вязкости наносуспензий от размера частиц [4]. Показано, что с увеличением среднего размера частиц объёмная вязкость наносуспензий возрастает. При этом чем выше средний размер наночастиц, тем сильнее проявляется зависимость объёмной вязкости суспензии от частоты излучения. При одинаковой концентрации и близких размерах наночастиц различного материала объёмная вязкость их суспензий значительно отличается.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-30022, <https://rscf.ru/project/23-79-30022/>.

-
1. Landau L.D., Lifshitz E.M. Fluid mechanics. London: Pergamon, 1959.
 2. Хапшель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир, 1976.
 3. Пряжников М.И., Минаков А.В. // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46. No. 12. С. 37.
 4. Минаков А.В., Пряжников М.И., Дамдинов Б.Б., Немцев И.В. // Акуст. журн. 2022. Т. 68. No. 2. С. 182.