

**Экспериментальное исследование эффективности передачи
ультразвуковых колебаний в жидкофазную нагрузку**

М.С. Муллакаев, Д.Ф. Асылбаев*, В.О. Абрамов.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН.
*Московский Государственный Университет Инженерной Экологии

В работе выявлены особенности развития кавитации в жидкостях с различными физико-химическими свойствами (порог кавитации, относительный объем кавитационной зоны) при некоторых значениях электрической мощности, подводимой к преобразователю; определена величина акустической мощности колебаний, вводимых в жидкости.

Показаны зависимости акустической мощности колебаний от свойств жидкостей влияние типа излучателя на величину акустической мощности вводимых колебаний при постоянной электрической мощности, подводимой к преобразователю.

В настоящее время наблюдается растущий интерес к разработке новых методов повышения эффективности технологических процессов в промышленности, а также защите и восстановления окружающей среды. С этих позиций следует обратить внимание на возможности использования для этих целей мощных ультразвуковых (УЗ) колебаний, которые являются уникальным экологически чистым средством стимуляции физико-химических процессов современной технологии

Под действием мощного ультразвука в жидкости возникают нелинейные акустические явления и изменяются свойства жидкости: скорость распространения в ней упругих колебаний, ее плотность, акустические потери в среде. В свою очередь характер развития нелинейных эффектов зависит от физико-химических свойств жидкости, так, например, порог развития кавитации и интенсивность ее развития в жидкости определяется такими ее характеристиками, как плотность, поверхностное натяжение, вязкость, давление насыщенного пара, скорость распространения звука, наличие в жидкости газовых и твердых включений [1].

Для внедрения мощного УЗ для интенсификации технологических процессов необходимо разработать оборудование, способное обеспечить введение в нагрузку требуемую акустическую мощность. Поскольку

жидкофазная нагрузка может быть различной природы, объема и геометрической формы, или перемещаться в непрерывном или периодическом режиме, введение акустические колебаний нужной амплитуды представляется достаточно сложной задачей.

Переход от лабораторной стадии исследования закономерностей УЗ воздействия на вещество к его промышленному внедрению возможен только при анализе энергетической эффективности такого воздействия.

Цель выполненной экспериментальной работы заключалась в исследовании особенностей развития кавитации в жидкостях с различными физико-химическими свойствами и оценке акустической мощности колебаний, вводимых в нагрузку, при изменении электрических параметров УЗ генератора.

Исследование кавитационных явлений в различных жидкостях проводилось на стенде, представленном на **рис. 1**.

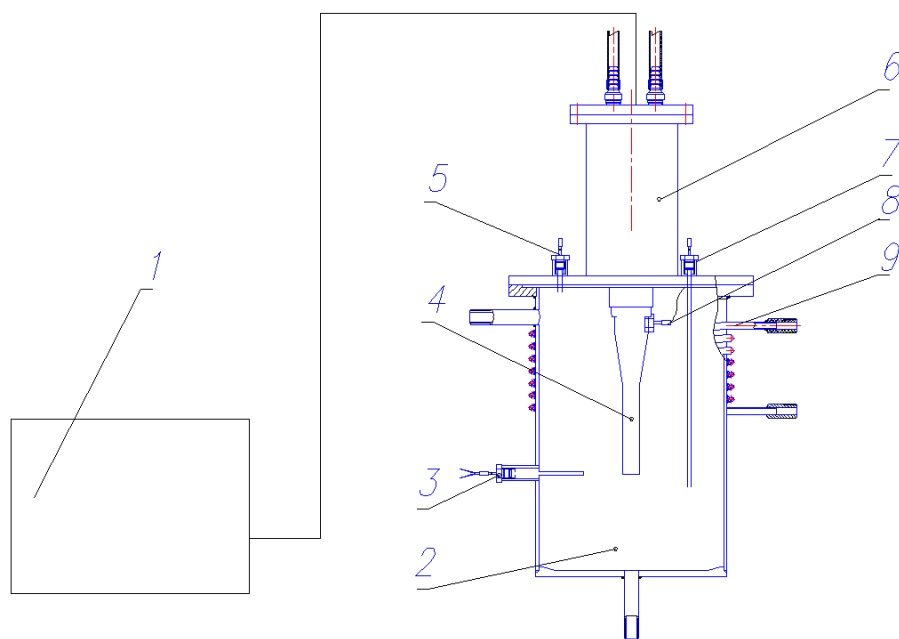


Рис. 1. Блок-схема стенда:
1 – УЗ генератор «МУГ» TS4M1, 2 – реактор; 3 – термопара; 4 – волноводно-излучающая система, 5 – кавитометр; 6 – магнитострикционный преобразователь МСП-24/2,5; 7 – капилляр; 8 – электродинамический “проходной” датчик EDP-6, 9 – термостатируемая рубашка.

УЗ - блок установки включает в себя УЗ - генератор «МУГ» TS4M1 (1) мощностью 4 кВт работающем на частоте $24,6 \pm 0,5$ кГц, обеспечивающим возможность плавной регулировки мощности, подаваемой на

магнитострикционный преобразователь МСП 24/2,5(6) соединенный с волноводной системой ВС-200/80 диаметром торца 80 мм (4).

Излучатель волноводной системы через специальное уплотнение вводился в герметично закрытый реактор (2) объемом 2 л. Реактор выполнен в форме цилиндра из нержавеющей стали, для визуального наблюдения и фотографирования кавитационной зоны предусмотрены два прозрачных окошечка диаметром 65 мм. Кавитометр (5) позволяет оценить порог возникновения кавитации и уровень кавитационного шума в исследуемой жидкости. На крышке реактора установлен капилляр (7), по подъему столба жидкости в котором оценивался объем кавитационной зоны при развитии в жидкости кавитации. Оценка акустической мощности колебаний, вводимых в нагрузку, осуществлялась по данным измерения амплитуды колебаний на волноводе электродинамическим “проходным” датчиком EDP-6 (8) в диапазоне 5-10 мкм с погрешностью $\pm 10\%$. Температура жидкости фиксировалась терморпарой (3), соединенной с измерительным прибором.

Эксперименты проводились на воде, в водных растворах органических соединений (спирт, четыреххлористый углерод, глицерин), различных нефтепродуктах (дизельное топливо, парафинистая и смолисто-асфальтеновая нефти). Нефть Лузановского месторождения (нефть 1) отличается высокой вязкостью и большим содержанием смол и асфальтенов, нефть Верхне-Салатского месторождения (нефть 2) отличается повышенным содержанием парафино-нафтеновых углеводородов и высокой температурой застывания (около $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$) (**табл. 1**).

Для оценки интенсивности развития кавитации и размеров кавитационной зоны использовались данные о характере и уровне кавитационного шума.

При исследовании кавитационных явлений определялся порог кавитации P_c , уровень кавитационного шума в частотном диапазоне 10 – 1300 кГц и величина кавитационной зоны при $P_m = 2 P_c$.

Наряду с акустическими методами для оценки величины мощности УЗ

колебаний P_{aL} , введенных в нагрузку, был использован калориметрический метод [2].

Таблица 1

Свойства исследуемых жидкостей

Вещества	Плотность, кг/м ³	Динамическая вязкость при 20 °С, мПа с	Скорость звука, м/с
Лузановская нефть	952	1014	1300
Верхне-Салатская нефть	780	227,1	1380
Дизельная фракция	880	2,2	1870
Этанол	800	1,22	1180
Вода	1000	1	1450
Четыреххлористый углерод	1600	0,97	926
Глицерин	1261	1450	1904

В первой серии экспериментов исследованы особенности развития кавитации в жидкостях с различными физико-химическими свойствами и проведена оценка акустической мощности колебаний, вводимых в нагрузку при изменении электрических параметров УЗ генератора (табл. 2).

Таблица 2

Пороги кавитации и размеры кавитационной зоны в жидкостях

Жидкость	Интенсивность, I_a , Вт/см ²	Порог кавитации P_c , МПа	Отн. объем кавитационной зоны, %
Вода	5	0,05	0,1
	10		1,0
	20		0,5
Раствор 50% воды – 50% глицерина	7	0,04	0,1
	15		0,8
	30		0,5
Четыреххлористый углерод	7	0,017	0,1
	15		1,1
	30		0,6
Дизельное топливо	7	0,02	0,2
	15		0,9
	30		0,5
Лузановская нефть	7	0,06	0,1
	15		0,9
	30		0,4
Верхне-Салатская нефть	7	0,073	0,1
	15		0,8
	30		0,4
Глицерин	15	0,07	0,1
	30		0,5
	60		0,3

Далее оценивались величина акустической мощности колебаний, вводимых в жидкость, при увеличении электрической мощности, подводимой к преобразователю (амплитуды колебаний на измерительном волноводе). В них варьировалась электрическая мощность колебаний, подаваемая на МСП, и измерялась амплитуда колебаний ξ_m , реально вводимых в нагрузку и рассчитывалась акустическая мощность. Одновременно фиксировался уровень развития кавитации в жидкости. Результаты экспериментов отражены на **рис.2**.

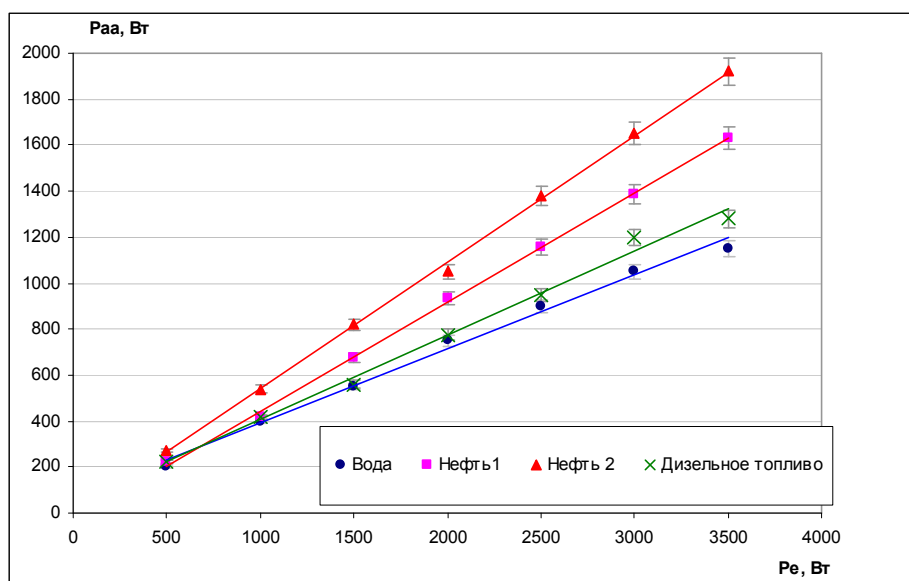


Рис. 2. Зависимость акустической мощности колебаний, вводимых в жидкость, при увеличении электрической мощности, подводимой к преобразователю

Во второй серии экспериментов оценивались величина акустической мощности колебаний, вводимой в различные жидкости, при постоянной электрической мощности, подводимой к преобразователю.

Эксперименты показали, что с увеличением плотности жидкости интенсивность кавитации (уровень кавитационного шума $P_{sh}|P_{s0}$) возрастает до значений плотности 1000 кг/м^3 , а затем начинает снижаться (**рис. 3**).

Скорость распространения звука в интервале 900–1450 м/с оказывают несущественное влияние на характер кавитации в жидкости (**рис. 4**). На рис. 3 и 4 уровень кавитационного шума P_{s0} в воде при $I_a = 2 I_c$ принят за 1.

Увеличение вязкости жидкости в интервале 1 –1500 сП приводит к снижению уровня кавитационного шума при фиксированных значениях акустической мощности колебаний, вводимых в жидкость (рис. 5).

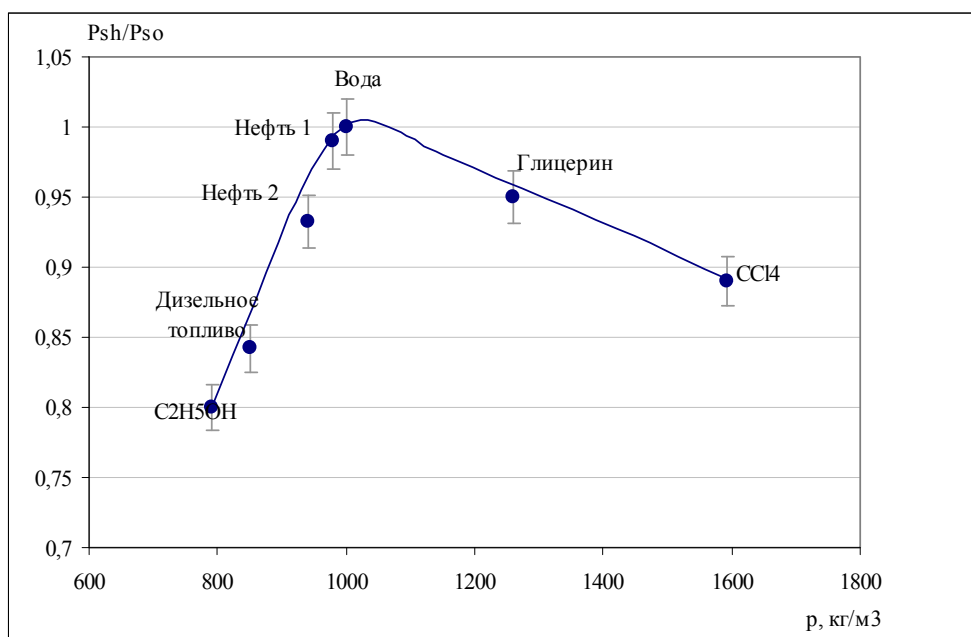


Рис. 3. Зависимость уровня кавитационного шума от плотности жидкости. Здесь и на рис. 4-5 уровень кавитационного шума P_{so} в воде при $P_m = 2P_c$ принят за 1.

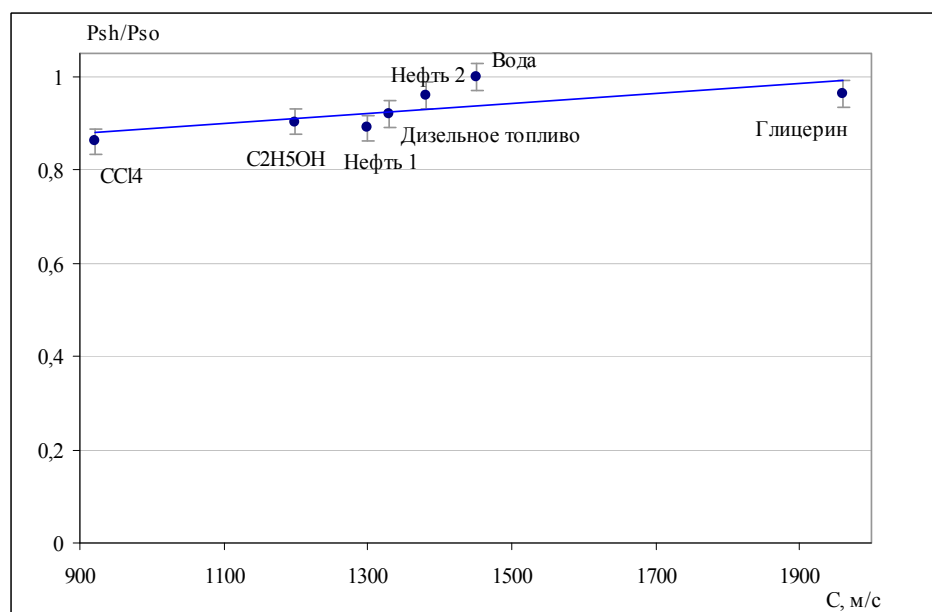


Рис. 4. Зависимость уровня кавитационного шума от скорости распространения звука в жидкости.

В экспериментах с глицерином кавитационная область формировалась в течение 20–30 с. после начала УЗ обработки жидкости, причем она

образовывалась в объеме жидкости, а не вблизи поверхности излучателя. Область имела четкие границы, и в ней наблюдалось заметное движение жидкости.

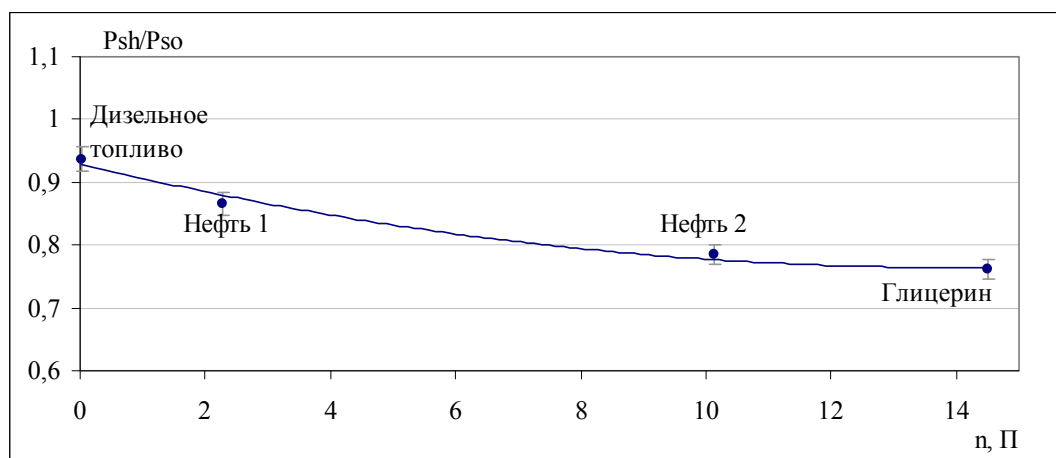


Рис. 5. Зависимость уровня кавитационного шума от вязкости жидкости.

С увеличением расстояния от излучающей поверхности уровень кавитационного шума экспоненциально снижается. В поле стержневого излучателя характерные размеры кавитационной зоны локализуются в пределах 1 – 2, а в поле трубчатого излучателя в 2 – 3 длин волн в жидкости.

Как показали эксперименты, с увеличением волнового сопротивления среды величина акустической мощности возрастает при постоянном значении электрической мощности (2,5 кВт) подводимой к преобразователю (рис. 6).

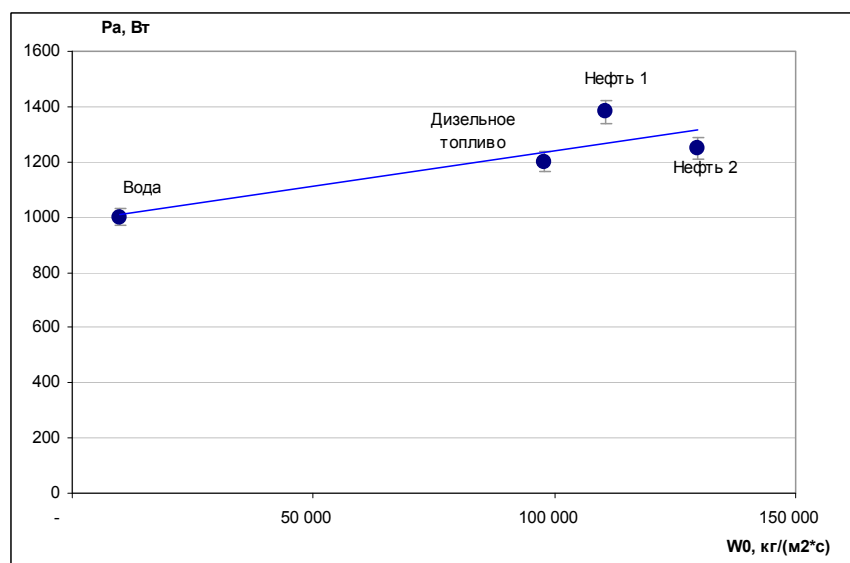


Рис. 6. Зависимость вводимой в нагрузку акустической мощности от волнового сопротивления среды.

Эксперименты показали, что с увеличением амплитуды колебаний до порогового уровня развития в жидкости кавитации, акустическая мощность определяется квадратичной зависимостью от амплитуды измеренных колебаний.

При развитии кавитации, в связи с уменьшением волнового сопротивления среды, зависимость акустической мощности от амплитуды колебаний приближается к линейной.

При дальнейшем увеличении амплитуды колебаний начиная с определенного значения, начинается распыление жидкости, и величина акустической мощности практически не зависит от амплитуды колебаний.

На **рис. 7.** представлены результаты экспериментов распределения кавитационных шумов в объеме жидкости (воде) при использовании различных излучателей (при $P_e = 2,5$ кВт). Использование излучателя с развитой поверхностью позволяет получить существенно более развитую кавитационную зону.

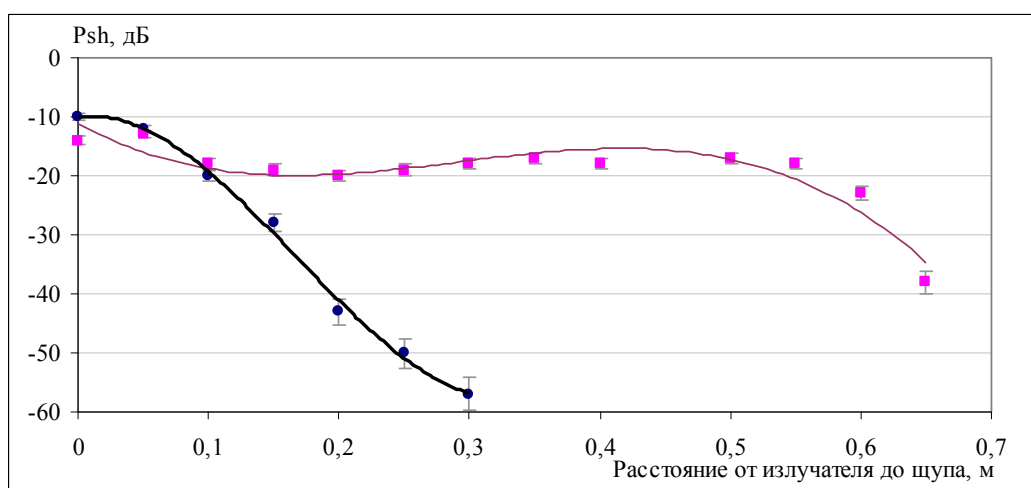


Рис. 7. Характер распределения уровня кавитационного шума в воде при использовании стержневого излучателя (1) и излучателя с развитой поверхностью (2)

Выводы

▪ Выявлены особенности развития кавитации в жидкостях с различными свойствами (порог кавитации, относительный объем кавитационной зоны) при некоторых значениях электрической мощности, подводимой к преобразователю; определена величина акустической мощности колебаний, вводимых в жидкости.

▪ Показаны зависимости акустической мощности колебаний от свойств жидкостей (от плотности, скорости звука, вязкости), влияние типа излучателя на величину акустической мощности вводимых колебаний при постоянной электрической мощности, подводимой к преобразователю.

Литература

1. О.В. Абрамов, В.О.Абрамов, М.С. Муллакаев, В.В. Артемьев. Анализ эффективности передачи ультразвуковых колебаний в нагрузку. Акустический журнал. 2009. Том 55. № 6. с 828-844.
2. Маргулис И.М. Измерение акустической мощности при исследовании кавитационных процессов// Акустический журнал. 2005. Т.51. № 5. С. 698–708.