

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ПЕРЕГРЕТОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

АННОТАЦИЯ

Построена автоматизированная установка для измерения времени жизни слабоперегретой воды под действием ультразвука. Исследовано влияние растворённых солей и ультразвука на процесс нуклеации.

1. ВВЕДЕНИЕ

Воздействие ультразвука на жидкость порождает в ней множество различных эффектов. В звуковом поле возникает свечение жидкости (сонолюминесценция), ультразвук диспергирует твердые тела, эмульгирует жидкости, вызывает эрозию твердых поверхностей, повышает активность катализаторов, ускоряет некоторые химические реакции, под действием акустических колебаний возникают специфические химические реакции [1]. Влияние ультразвука на вскипание перегретой жидкости – один из интересных и важных вопросов кинетики зародышеобразования [2,3]. Ультразвук принадлежит к числу факторов, инициирующих вскипание, уменьшающих пребывание жидкости в состоянии перегрева [4,5]. Изучению эффектов инициирования вблизи теоретической границы перегрева посвяще-

ны работы [6,7]. Влияние ультразвука на среднее время ожидания вскипания при умеренных перегревах рассмотрено в работах [8–10]. Подбором частоты и амплитуды удается добиться полного снятия перегрева, т.е. уменьшить время ожидания вскипания до нуля.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. Основной деталью установки является экспериментальная ячейка 1, выполненная из стекла и представляющая собой закрытый с торцов цилиндр внутренним диаметром 18 мм и длиной 33 мм. Объём ячейки 8,5 см³. Ячейка гидравлически соединена с разделительным устройством 5 и датчиком давления 11. К торцам экспериментальной ячейки приклеены пластинки из керамики ЦТС – 19, одна из которых соединена с ультразвуковым генератором 6 и служит источником ультразвуковых колебаний, а другая соединена с осциллографом 7 и является индикатором колебаний в системе.

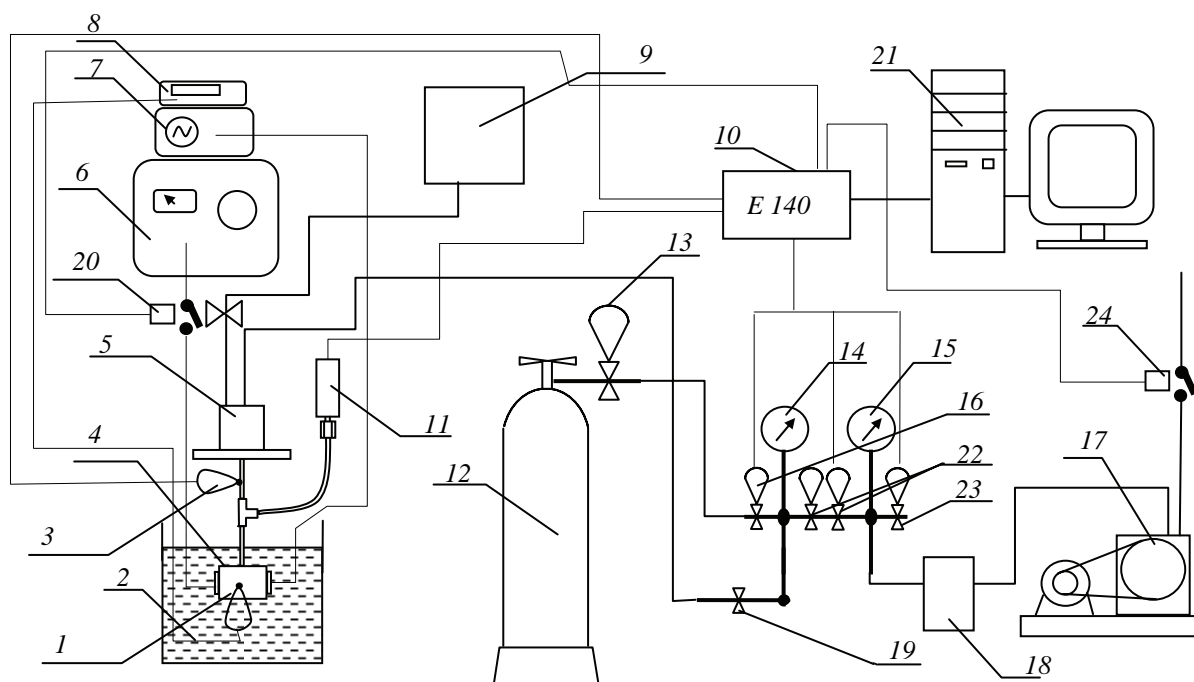


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – измерительная ячейка; 2,3 – термопары; 4 – термостат; 5 – разделительная ёмкость; 6 – генератор ультразвука; 7 – осциллограф; 8 – вольтметр; 9 – система заполнения; 10 – АЦП; 11 – датчик давления; 12 – баллон с CO₂; 13 – редуктор; 14 – манометр; 15 – вакуумметр; 16 – электромагнитные клапаны; 17 – вакуум насос; 18 – форбачок; 19 – вентиль; 20 – выключатель ультразвука; 21 – компьютер

Экспериментальная ячейка помещается в термостат 4, поддерживающий температуру с погрешностью 0,1°C. Измерение температуры ячейки осуществляется с помощью термодатчика 2 и вольтметра 8.

Разделительное устройство 5 представляет собой цилиндрический сосуд с уплотненной крышкой, к которой приварен сильфон. Все устройство выполнено из нержавеющей стали.

Заполнение экспериментальной ячейки и разделительной емкости осуществляется через отверстие в крышке разделительного устройства и запорный вентиль. Система заполнения 9 состоит из гидрозатвора, заполненного исследуемой жидкостью, вакуумметра, двух зажимов, форбаллона и форвакуумного насоса, которые соединены между собой вакуумными трубками. Заполнение достигается многократной откачкой экспериментальной ячейки, разделительного устройства и исследуемой жидкости с последующей подачей в сосуд с исследуемой жидкостью атмосферного давления.

Давление в системе создается с помощью сжатого газа (двуокиси углерода), находящегося в баллоне 12. Его давление понижается редуктором 13 до необходимой величины и автоматически подается в сильфон разделительного устройства через систему нормально закрытых электромагнитных клапанов 16, 22, 23 и вентиль 19. Величина давления в системе контролируется манометром 14. Сброс давления на исследуемую жидкость до атмосферного значения производится также автоматически с помощью той же системы электромагнитных клапанов 16. В системе может быть создано давление ниже атмосферного с помощью форвакуумного насоса 17.

Установка работает в автоматическом режиме по заданной программе под управлением персонального компьютера 21, связанного с ней через аналого-цифровой преобразователь 10.

Время ожидания вскипания измеряется системой автоматики от момента установления равновесной температуры и давления в ячейке. Сигналом на остановку счета времени служит импульс давления, возникающий при вскипании, который дублируется импульсом от термодатчика 3.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе экспериментов были измерены зависимости времени жизни от температуры для перегретой дистиллированной воды и раствора хлорида натрия 35г/л (что соответствует средней солёности морской воды) под действием ультразвука и без него. Измерения производились при частоте ультразвуковых колебаний 106 кГц, что соответствует резонансной частоте ячейки, и различных напряжениях на излучателе. Отмечается крайне плохая воспроизводимость результатов, что возможно связано с выделением в ячейке растворённого газа. Особенно при малых временах жизни. Газовыделение сделало невозможным измерения с газированными и карбо-

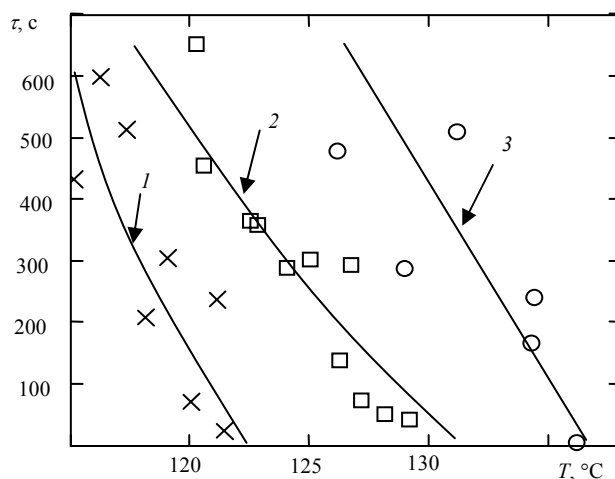


Рис. 2. Зависимости среднего времени жизни воды от температуры: 1 – дистиллированная вода; 2 – раствор хлорида натрия в ультразвуковом поле; 3 – раствор хлорида натрия

натсодержащими растворами, т.е. с полными имитатами морской воды.

Дистиллированная вода была перегрета до 115–120°C, солёная вода – до 117–135°C, что, видимо, связано с высаливающим эффектом и снижением растворимости газов. Ультразвук снижает перегрев на 5–10°C и делает зависимости от температуры более пологой. Результат показан на рис. 2.

Для исследования распределения времени жизни строилась эмпирическая функция распределения в соответствии с определением [11]:

$$F(\tau) = \begin{cases} F = 0, & \tau \leq \tau_1, \\ F = \frac{m}{n}, & \tau_m < \tau \leq \tau_n, \\ F = 1, & \tau = \tau_n, \end{cases}$$

где m – текущий номер измерения в серии из n .

Эмпирическую функцию распределения аппроксимировали экспонентой и кубическим сплайном. На рис. 3 видно, что экспоненциальная аппроксимация неудовлетворительна. Плотность распределения вероятности времени жизни вычисляли путём дифференцирования интегральной функции. Результат представлен на рис. 4.

В солевом растворе, не подверженном действию ультразвука, распределение времени жизни близко к экспоненциальному, но наблюдается слишком большое число больших времён жизни и дисперсия данных.

ВЫВОДЫ

Можно предполагать наличие центров зародышеобразования двух типов. Первый, на которых пузыри уже существуют в момент сброса давления. И второй, на которых пузырёк сначала должен был родиться, а затем вырасти. Ультразвук может стимулировать рост как первых, так и вторых. В первом случае время жизни резко сокращается и рас-

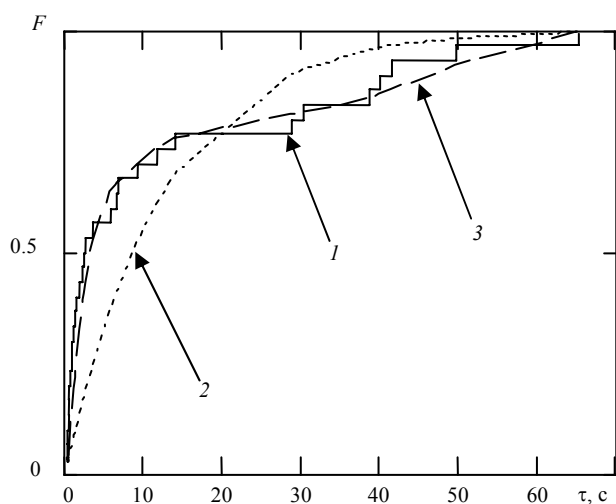


Рис. 3. Интегральная функция распределения времени жизни воды в ультразвуковом поле: 1 – эмпирическое распределение; 2 – экспоненциальная аппроксимация; 3 – сплайновая аппроксимация

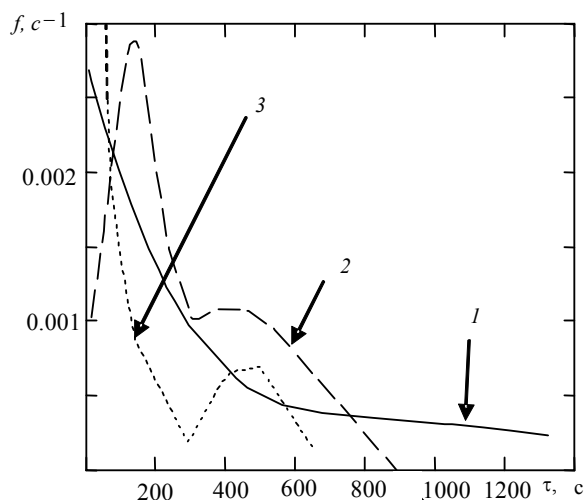


Рис. 4. Дифференциальная функция распределения времени жизни воды в ультразвуковом поле: 1 – раствор хлорида натрия; 2 – раствор хлорида натрия в ультразвуковом поле, напряжение на пьезоизлучателе 10 В; 3 – сплайновая раствор хлорида натрия в ультразвуковом поле, напряжение на пьезоизлучателе 4 В

пределение приближается к крутой экспоненте, но остаётся некоторое количество больших времён жизни. Так происходит при невысоких интенсивностях ультразвука. При максимальном напряжении на излучателе центры первого типа не проявляются,

но интенсифицируются центры второго типа, что приводит к появлению экстремума на функции распределения.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта фундаментальных исследований УрО-ДВО РАН «Акустическая кавитация в метастабильных жидкостях».

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

F – интегральная функция распределения времени жизни;
 f – дифференциальная функция распределения времени жизни;
 τ – время;
 T – температура;
 n – количество измерений в выборке;
 m – номер измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маргулис М.А. Основы звукохимии. М.: Высшая школа, 1984. 272 с.
2. Акуличев В.А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях. М.: Наука, 1978. 278 с.
3. Ермаков Г.В. Термодинамические свойства и кинетика вскипания перегретых жидкостей. Екатеринбург, 2002. 270 с.
4. Apfel R.E. Acoustically induced explosions of superheated droplets// J.Acoust. Soc. Am. 1975. V. 57. № 6. pt 1. P. 1371–1373.
5. Хиджиката Л., Мори И., Нагатани Т. Экспериментальное исследование зародышеобразования пузырьков жидкости с периодически изменяющимся давлением // Теплопередача. 1978. Т. 100. № 3. С. 83–90.
6. Байдаков В.Г. Каверин А.М. Скрипов В.П. Акустическая кавитация и скорость ультразвука в перегретом жидком ксеноне // Тез. Докл. IX Всесоюз. акустич. конф. М., 1977 Сек. Б. С. 87–90.
7. Байдаков В.Г. Каверин А.М. Скрипов В.П. Акустическая кавитация в перегретой жидкости // Акустический журн. 1981. Е. 27. №5.
8. Ермаков Г.В., Фёдоров А.П. А.с. 945776 (СССР). Способ контроля устойчивости перегретой жидкости // БИ. 1982. №27.
9. Ермаков Г.В., Фёдоров А.П. Иницирование вскипания перегретой жидкости ультразвуком // ТВТ. 1985. Т. 23. № 6. С. 1092–1095.
10. Ермаков Г.В., Фёдоров А.П. Вскипание перегретой жидкости при действии ультразвука // Тез. докл. на Всесоюз. симпоз. «Акустическая кавитация и применение ультразвука в химической технологии» (Славское март, 1985). Славское, 1985. С. 24.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985.