

УДК 66.069:66.071

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ В ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

^{1,2}Кузнецов Д.М., ²Гапонов В.Л., ¹Гайдукова Ю.А., ¹Маслова Е.Е.¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: pressa_npi@mail.ru;²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: reception@donstu.ru

Целью настоящей работы являлась разработка универсального метода, позволяющего осуществлять процесс мониторинга удаления любого растворенного газа из любой жидкости. В основе разработки метода использован тот факт, что движение пузырьков газа к поверхности жидкости вовлекает в колебательный процесс частицы жидкости, которые смещаются около своего положения равновесия, переходя в состояние периодического уплотнения и разряжения. Метод основан на генерации акустических колебаний при движении пузырьков газа к поверхности жидкости. В ультразвуковой области метод регистрации акустических колебаний (метод акустической эмиссии) в жидкой среде позволяет регистрировать выделение растворенных газов по мере роста температур в жидкости. Процесс регистрации акустических колебаний изучен в диапазоне частот 100–500 кГц на примере воды. Установлено, что кривая роста суммы импульсов акустической эмиссии совпадает по характеру с кривой роста температуры воды. Установлено, что различные этапы дегазации жидкости инициируют различные формы и спектры индуцируемых акустических сигналов. Полученные данные позволяют спрогнозировать сферу применения метода АЭ как надежного и высокочувствительного метода контроля химических процессов в жидкости, протекающих с образованием газовой фазы.

Ключевые слова: растворимость газов в жидкости, мониторинг дегазации, метод акустической эмиссии, количество импульсов, активность акустических импульсов, ультразвуковые колебания

THE STUDY OF THE PROCESSES OF DEGASIFICATION OF A LIQUID BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

^{1,2}Kuznetsov D.M., ²Gaponov V.L., ¹Gaydukova Yu.A., ¹Maslova E.E.¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: pressa_npi@mail.ru;²Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: reception@donstu.ru

A universal method allowing the monitoring process of removing dissolved gas from liquid. The method is based on the generation of acoustic waves during the motion of gas bubbles to the liquid surface. In the ultrasonic region registration method of acoustic vibrations (acoustic emission method) in a liquid medium allows to record the allocation of dissolved gases with the growth temperature in the liquid. The process of registration of acoustic oscillations is studied in the frequency range 100-500 kHz for the example of water. It is established that the growth curve of the amount of acoustic emission pulses is coincident in nature with the growth curve of the water temperature. Is that different stage of degassing liquids initiate various shapes and spectra of induced acoustic signals. The obtained data allow predicting the scope of application of the AE method as a reliable and impossible non-destructive method of control of chemical processes in the liquid flowing with the gas phase formation.

Keywords: solubility of gases in liquids, monitoring of the degassing, the method of acoustic emission, the number of pulses, active pulses of acoustic pulses, ultrasonic vibrations

Современные методы изучения растворимости газов в жидкости, основанные на измерении вязкости жидкости, или изменения показателя преломления (метод голографической интерферометрии), имеют ограниченную применимость или пригодны только для определенного типа жидкостей. Целью настоящей работы являлась разработка универсального метода, позволяющего осуществлять процесс мониторинга дегазации любой жидкости. В основу разработки метода положен тот факт, что движение пузырьков газа к поверхности жидкости вовлекает в колебательный процесс частицы жидкости, которые смещаются около своего положения равновесия. Этот процесс в силу упругости жидкой

среды распространяется последовательно на смежные частицы в виде волны. При вытеснении микроскопического пузырька газа из жидкости происходит отрыв и схлопывание пузырька, т.е. процесс разрежения и уплотнение среды [1]. Возбуждаемая единичная акустическая волна имеет настолько слабую энергию и высокую частоту, что вследствие процессов затухания в жидкой среде ее энергия практически не доходит до поверхности. Но в том случае, если этот процесс имеет множественный характер, происходит усиление акустического сигнала, что следует из известных формул акустических расчетов [2–3], а следовательно, становится возможна регистрация акустических колебаний.

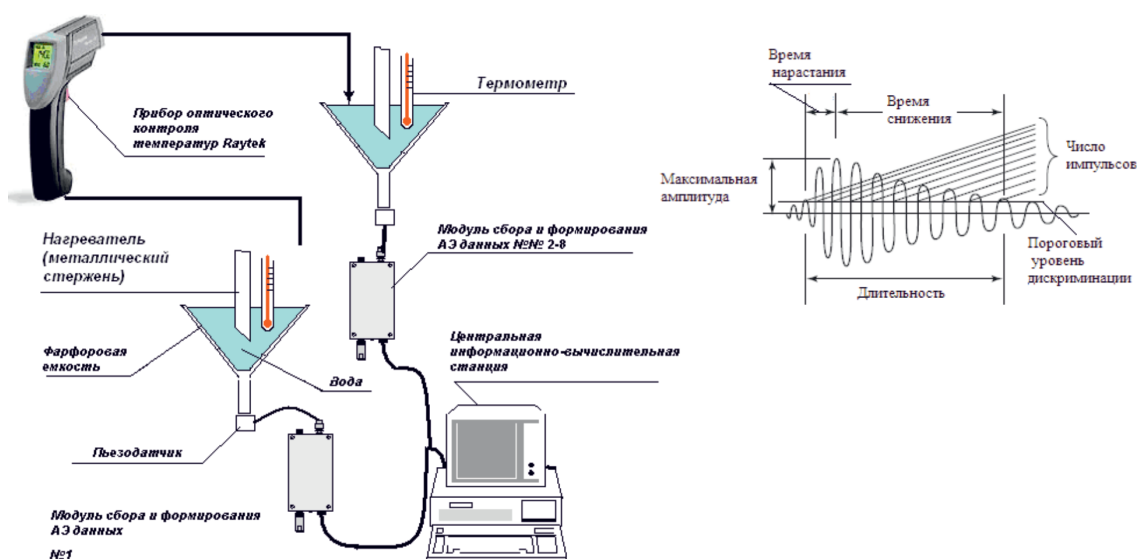


Рис. 1. Акустико-эмиссионная установка для изучения процессов, проходящих в жидкой среде с выделением газовой фазы

В случаях выделения растворенных газов из жидкости образование акустических сигналов обусловлено не только разрушением газовых пузырьков на поверхности жидкости. Источником акустических колебаний в жидкости может оказаться любое колеблющееся тело, выведенное из устойчивого состояния какой-либо внешней силой [1]. В данном случае движение газового пузырька в жидкости также является источником образования акустических ультразвуковых волн.

Материалы и методы исследования

Изучение индуцируемых сигналов АЭ в процессе дегазации жидкости проводилось с применением акустико-эмиссионного комплекса A-Line 32. Комплекс A-Line 32 представляет собой многоканальную систему регистрации АЭ событий и позволяет проводить параллельно до 32 экспериментов, в данном случае использовалось 2 пьезодатчика для обеспечения сходимости данных. Частотный диапазон используемых пьезодатчиков составлял 100–500 кГц. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что растворение газов в жидкостях часто сопровождается выделением теплоты. Поэтому растворимость газов с повышением температуры согласно принципу Ле Шателье понижается. Эту закономерность часто используют для уда-

ления растворенных газов из воды (например CO_2) путем нагревания воды. Этот же принцип использовался в настоящей работе. Исследуемую дистиллированную воду медленно охлаждадали на воздухе для обеспечения фазового равновесия, поскольку в случае контакта воды с воздухом следует говорить о растворимости не одного газа, а о смеси газов. В этом случае растворимость каждого из компонентов газовой смеси при постоянной температуре пропорциональна парциальному давлению компонента над жидкостью и не зависит от общего давления смеси и индивидуальности других компонентов. Дистиллированная вода, охлажденная до 10°C , в количестве 100 мл, заливалась в специальную кварцевую емкость. Использованный материал емкости – кварц, ввиду низкой степени затухания ультразвука в кварце. Форма емкости выбиралась таким образом, чтобы обеспечить усиление индуцируемого АЭ сигнала.

Расчет количества растворенной и выделившейся при нагревании из воды смеси газов проводился по известным данным. Результаты расчетов представлены в таблице и рис. 4–5 (по данным работы [4–5]). Полученные результаты свидетельствуют, что в целом кинетика выделения растворенного газа из воды по мере роста температуры подчиняется экспоненциальной зависимости [6–7]. В то же время на первоначальном отрезке нагревания воды выделение растворенного газа носит линейный характер (рис. 2).

Изменение количества растворенного газа в 100 г воды при росте температуры

Время, мин	Температура, °С	Количество растворенного газа, в 100 г воды, мкг	Количество выделенного газа, мкг
0.00	9,4	0,29	0
10.0	11,6	0,27	0,02
20.0	12,6	0,25	0,04
30.0	13,4	0,21	0,08
40.0	14,3	0,15	0,14

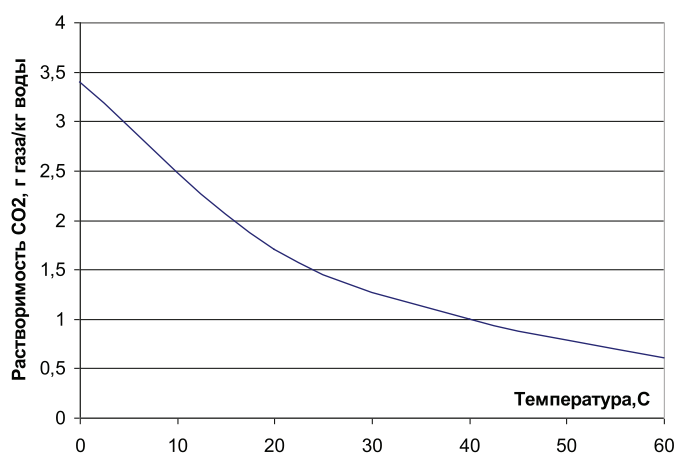


Рис. 2. Изменение растворимости углекислого газа в воде в зависимости от температуры по данным работы [8]

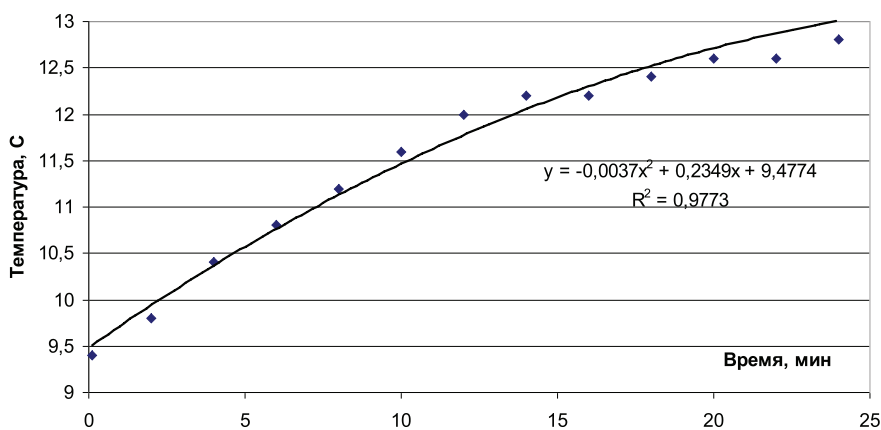


Рис. 3. Кривая суммы АЭ импульсов и регистрируемое изменение температуры

Полученные расчетные данные получили подтверждение при изучении этого процесса АЭ методом, результаты которого оказались существенно более информативны (рис. 3 и 4).

Во-первых, установлено, что на первоначальном участке нагрева воды кривая роста температур совпадает по характеру с изменением суммы импульсов АЭ.

Интерпретация такой динамики изменения очевидна: поскольку перепад температур между внешней температурой и температурой емкости уменьшается, снижается и скорость роста температур. Аналогично и наблюдаемое изменение $N_{\text{сумм}}$: поскольку растворение газа сопровождается выделением теплоты, постольку повышение температуры снижает количество растворимого газа, который выделяется в виде микропузырьков, индуцирующих волны АЭ. Неравновесное состояние воды экспоненциально уменьшается в сторону равновесного, что отражается и в характере изменения индуцируемых акустических импульсов.

Но поскольку акустико-эмиссионные исследования позволяют получить не только интегральный показатель суммы количества колебаний, но и качественную картину характера этих колебаний, а также динамику изменения, то, во-вторых, установлено, что на первоначальном участке нагрева воды пузырьки газа имеют низкую энергию акустических колебаний и пьезодатчик регистрирует генерируемые акустические сигналы в относительно низкочастотной области (до 100 кГц).

Дальнейшее нагревание воды привело к получению совершенно другой картины

формы и частоты генерируемых сигналов и динамики роста суммы импульсов АЭ. Что касается формы и частоты сигналов, то очевидно наблюдение эффекта «биения»: суммирования высокочастотных колебаний с приблизительно близкой частотой. Это свидетельствует не только о массовости явления, но и о примерно одинаковом размере выделяющихся газовых пузырьков.

Изменение суммы сигналов носит уже выраженный характер степенной зависимости, что также свидетельствует о лавинообразном увеличении скорости выделения растворенного газа из воды по мере роста температур.

Визуальные изменения состояния воды позволяют дать следующую интерпретацию кинетики дегазации: выделившаяся часть растворенного газа наблюдается невооруженным глазом на стенках емкости. Очевидно, что большие размеры пузырьков газа при их движении в толще воды вызывают образование акустических волн с большей энергией и большей активностью АЭ. Достигая поверхности жидкости, эти пузырьки взрываются (явление, носящее название «струя Уоррингтона»). В работе [8] этот процесс снят на камеру со скоростью снимающую 5000 кадров в секунду. На серии высокоскоростных снимков видно, как пузырёк поднимается к поверхности и разрывается, создавая на ней микро-кратер. Стягиваясь, этот кратер извергает струйку жидкости, которая разлетается на мельчайшие капли, поднимающиеся на высоту до 10 см от поверхности. Этот сложный процесс реализуется и в многообразии параметров акустических сигналов, регистрируемых предложенной методикой (рис. 6).

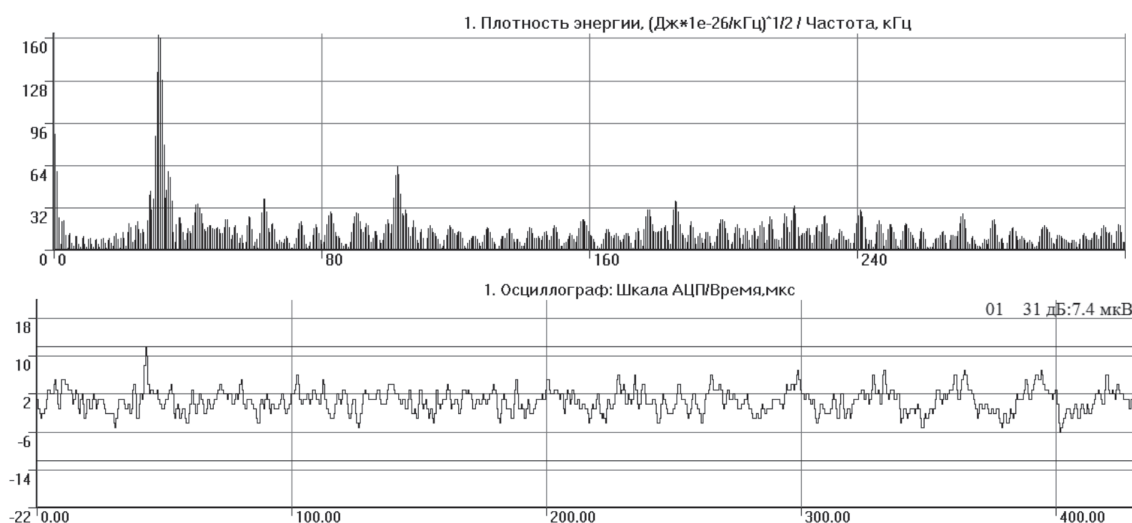


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала начального периода дегазации воды

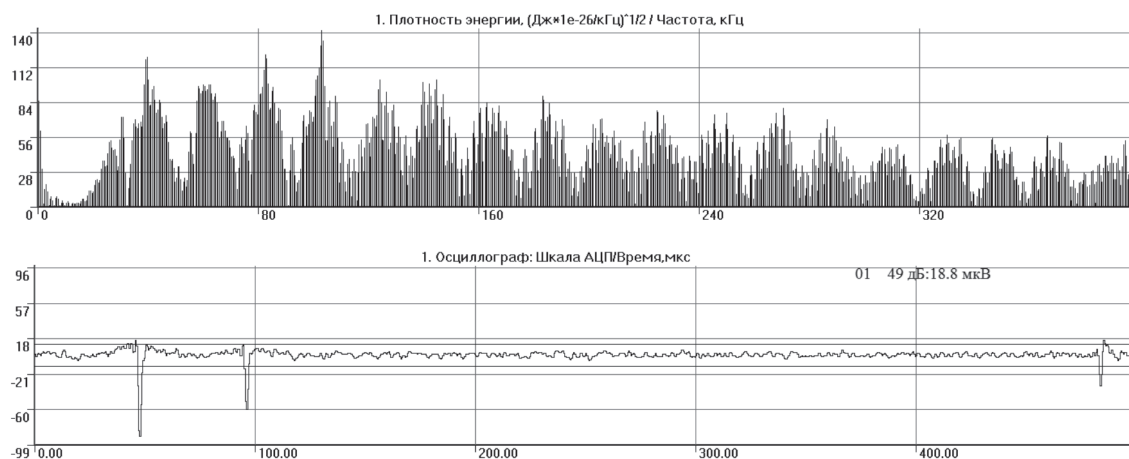


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала второго этапа дегазации воды

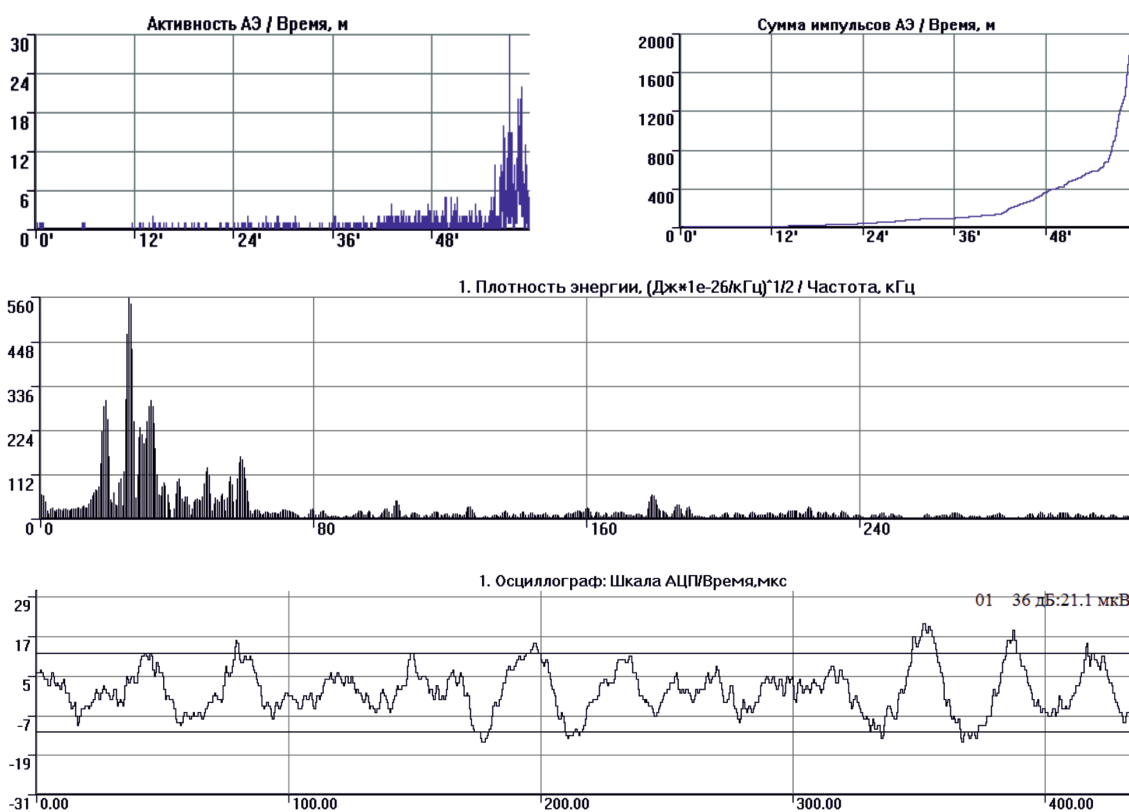


Рис. 6. Активность АЭ, кривая суммы АЭ импульсов, а также амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала на завершающем этапе дегазации воды

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что применённая методика изучения процессов, проходящих в жидкой среде с выделением газовой фазы, с использованием явления акустической эмиссии, достаточно эффективна. С её помощью, в частности, установлено, что:

– метод АЭ позволяет регистрировать выделение растворенных газов по мере роста температур в жидкости;

– на первоначальном участке нагрева воды кривая роста суммы импульсов АЭ совпадает по характеру с изменением температуры воды.

Полученные данные позволяют спрогнозировать сферу применения метода АЭ как надежного и высокочувствительного метода контроля химических процессов в жидкости, протекающих с образованием газовой фазы.

Список литературы

1. Пивоварова О.О. Обеспечение безопасных условий труда на участке пропитки ремонтных машиностроительных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2013. – 129 с.

2. Кузнецов Д.М., Гапонов В.Л., Смирнов А.Н. К вопросу о возможности исследования кинетики химических реакций в жидкой среде с помощью метода акустической эмиссии // Инженерная физика. – 2008. – № 1. – С. 16–21.

3. Builo S.I., Kuznetsov D.M., Gaponov V.L. Acoustic-Emission Testing of Capillary Liquid in Porous Media // Russian

Journal of Nondestructiv Testing. – 2014. – vol. 50, no. 7. – P. 19–23.

4. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко [и др.] // Машиностроение. – 2002. – С. 240.

5. Влияние ультразвука на электролиз морской воды / З.М. Алиев [и др.] // Вестник Дагестанского гос. ун-та. Серия 1: Естественные науки. – 2014. – № 6. – С. 144–147.

6. Холлиншид Г., Икард М., Надоленко В. Щелочной электролиз – Альтернатива электролизу с ионно-обменными мембранами // Наноиндустрия. – 2014. – № 5 (29). – С. 32–34.

7. Water electrolysis with DC pulses and plasma discharge / M. Vanags [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 9. – С. 23–27.

8. Пузырьки шампанского с точки зрения науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wineclass.citylady.ru/art035.htm> (дата обращения: 05.03.2018).