

В. Б. ЮФЕРОВ, д-р техн. наук, ННЦ ХФТИ, Харьков;
А. Н. ПОНОМАРЕВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
А. Н. ОЗЕРОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
И. В. БУРАВИЛОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
Д. В. ВИННИКОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков

ПНЕВМОИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ

Досліджувалися процеси розсіювання світлового випромінення в рідинах, що дозволяють визначити знегаження рідини під впливом акустичних імпульсів. Досліджена динаміка зростання та розпаду газо-сольових пухирців у водно-сольових розчинах під впливом імпульсного акустичного випромінення.

The light emission scattering in liquids, allowing to determine removal of gases in liquids under the influence of acoustic pulses has been studied. The dynamics of growth and collapse of gas bubbles in salt water and salt solutions under the influence of pulsed acoustic radiation has been investigated.

Ранее в работах [1-3] были описаны эксперименты по дегазации воды с помощью акустических импульсов. Высказана гипотеза об образовании смешанных газо-солевых зародышей, которые растут и всплывают, когда Архимедова сила положительна или существуют в воде не всплывая и удерживают на себе газ, если сила – отрицательна. Сейчас эти эксперименты продолжены с 3% раствором NaCl. Эксперименты проводились на той же установке с диагностикой, определяющей наличие и размер зародышей по рассеянию лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 470$ nm. и $\lambda = 602$ nm. Анализ полученных данных по изменению прозрачности жидкости позволит дополнительно судить о динамике роста и распада размеров зародышевой фазы. Установка включала вакууммируемую до ~ 80 mm Hg камеру, заполненную 20 l воды, импульсного газодинамического излучателя, пьезо-акустического датчика и системы контроля прозрачности жидкости, состоявшей милливатного лазера с $\lambda = 602$ nm, светодиода с $\lambda = 470$ nm и 2-х фотодиодов с системой регистрации. Вакуумирование проводилось с целью увеличения мощности излучателя, получения состояния пересыщения по растворенным газам и увеличения удельной подъемной силы Архимеда (атомов соли на молекулу воздуха). С точки зрения пересыщенных по газу жидкостей, здесь некой аналогией может являться камера Вильсона, с той разницей, что в ней за счет «пересыщения и последующего роста капель на заряженных и не заряженных центрах» в газе визуализируются треки быстрых частиц [4]. В нашем случае визуализируется область роста пузырьков – и зародышей новой фазы после прохождения акустических волн в жидкости. Вид акустического сигнала, возникающего при инъекции газа из пневмоизлучателя в воду, связанный с быстрым образованием и последующим всплытием газовой полости представлен на рис. 1. Следует заметить, что сигналы от импульса к импульсу мало отличались друг от друга.

Энергия импульса, определяемая по запасенной энергии в газе pV при его политропном или адиабатном расширении от давления $p_1 \sim 3$ ат до давления, $p_2 \sim 0.15$ ат составлял $f \sim 150$ J, количество инжектированного газа $V_{inj} \sim 0.65$ dm³. Давление газа на выходе сопла площадью $S \approx 10$ см² – равно ~ 2 ат. С помощью Фурье-анализа определена основная частота колебаний ~ 1 kHz и широкий спектр колебаний от сотни до 100 kHz.

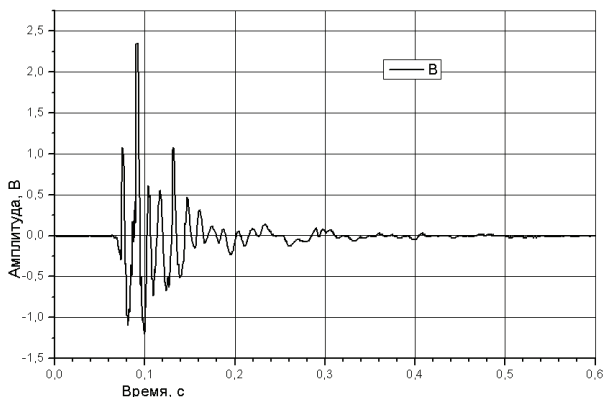


Рисунок 1

Контроль прозрачности среды позволяет судить о концентрации и размерах зародышей газовой фазы в воде, см. рис. 2 (для импульсов № 1, 10). После открытия клапана, газ инжектируется в жидкость и возникает акустический сигнал. При этом газ проходит через водную среду, которая становится оптически непрозрачной (это вызвано движением массы газа вниз и последующим всплытием газового пузыря; первый минимум на осциллограмме соответствует исчезновению прозрачности, что обусловлено эффективным рассеянием света на границах раздела «воздух-вода» в камере). Затем прозрачность частично восстанавливается, однако, жидкость вскоре снова теряет прозрачность. При этом во всем объеме жидкости появляются пузырьки газа, которые постепенно растут – регистрируется второй минимум прозрачности. Затем пузырьки начинают всплывать и среда просветляется. При данном уровне мощности импульсов, жидкость остается непрозрачной вплоть до седьмого импульса. Для 10-го импульса прозрачность воды составляет почти 100% и меняется незначительно, в пределах ± 10 %. При сохранении озвученной жидкости под вакуумом, при дальнейших импульсах, прозрачность не изменяется. Как видно, собственно инжекция газа в жидкость к существенному растворению газа не приводит из-за малой поверхности массообмена и из-за малого времени всплывания газового пузыря. Дистиллированная и водопроводная вода быстро обезгаживаются и перестают влиять на кривые прозрачности. Небольшое количество примесей в водопроводной воде затягивает процесс обезгаживания и уменьшает количество удаленного воздуха. Для соленой же воды процесс

обезгаживания блокируется путем образования смешанных газо-солевых зародышей, препятствующих дегазации. «Морская» – подсолённая вода сохраняет непрозрачность и при 50 и более импульсах (рис. 3). Более того, в солевой воде нет фазы восстановления прозрачности, она непрозрачна с самого начала. На рис. 2 представлены кривые прозрачности жидкости во времени для дистиллированной, водопроводной воды, с количеством соли около 0.5 г/л и «морской воды», с количеством соли около 30 г/л.-3% примесей. На рис 3 представлена зависимость прозрачности солевого раствора с концентрацией около 30г/л от времени для различного количество импульсов. Постоянное от импульса к импульсу уменьшение амплитуды сигнала в солевом растворе, связано с ростом зародышей и долей отраженного сигнала. Который может свидетельствовать о росте и увеличении концентрации больших зародышей, у которых размер $D \sim \lambda$ и число частиц $N \sim 10^9$.

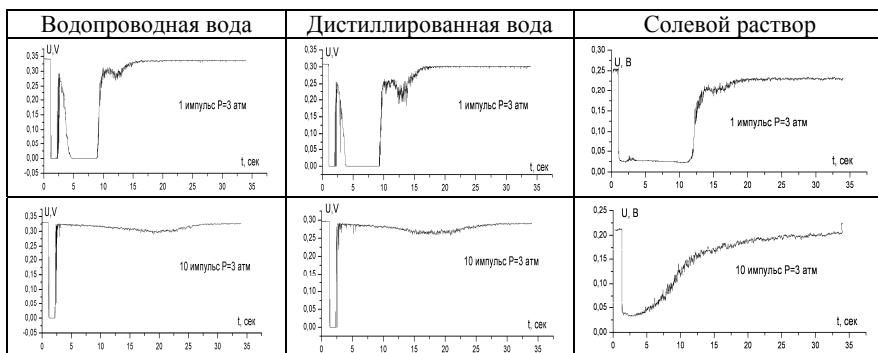


Рисунок 2

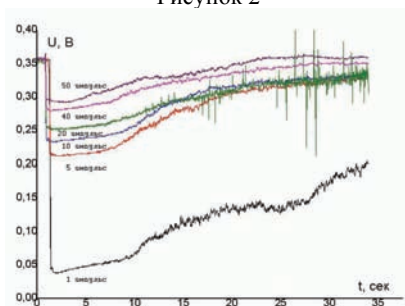


Рисунок 3

Величины газовыделения дистиллированной воды и солевого раствора (30 г/л) в зависимости от номера импульса, представлены на рис. 4. Первоначальный короткий импульс вызывает рост пузырьков и спустя достаточно продолжительное время после прохождения импульса, что заставляет предположить либо наличие длительно затухающих акустических колебаний (эффект колокола – собственные колебания системы и паразитные колебания системы,

определяемые работой форвакуумного насоса), либо действие дополнительных факторов, наблюдаемых в работах [5-7]. Безусловно, лавинообразное всплытие громадного числа пузырьков на свободную поверхность и последующее их разрушение.

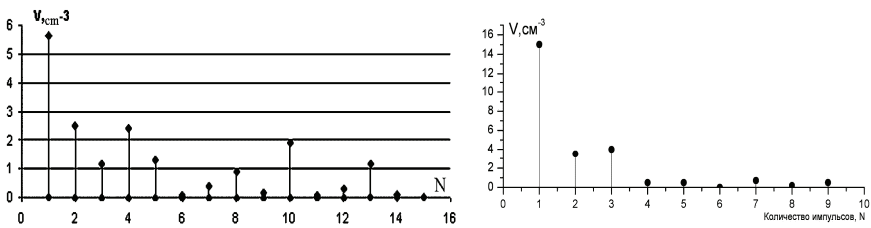


Рисунок 4

Более короткая длина волны с $\lambda = 470 \text{ nm}$, характеризующая, соответственно меньший размер зародышей указывает на их появление на более ранней стадии или даже их существование в начальный момент времени (отсчет идет от окончания времени инъекции).

На рис. 5 представлена зависимость скорости роста и распада зародышей в жидкости при импульсном воздействии. Пунктиром сделана экстраполяция. N – число частиц в зародыше.

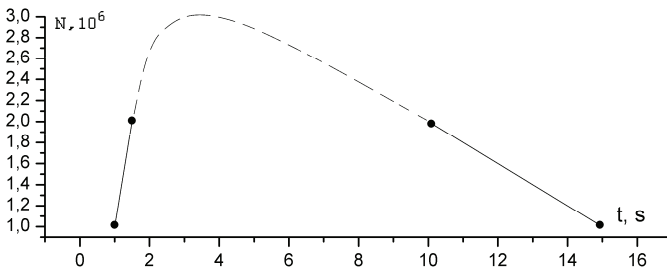


Рисунок 5

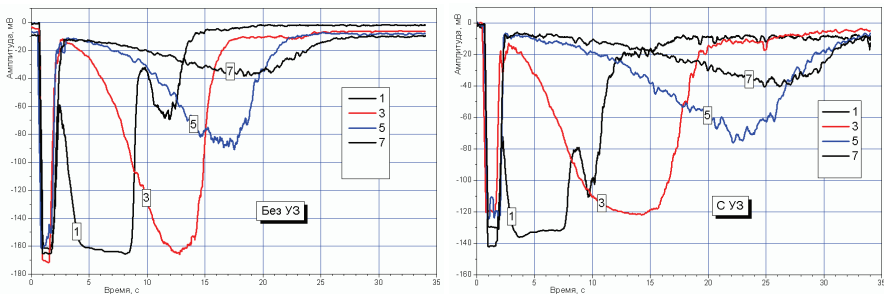


Рисунок 6

В процессе образования из зародышевой фазы газовых пузырьков, т.е. образования поверхности раздела двух фаз с нескомпенсированной поверхностной энергией, при субатомных размерах последней, на эту поверхность могут диффундировать из объема жидкости молекулы и ионы солей, т.е. на ней может происходить адсорбция примесей. При размерах пузырьков ~ 10 nm, поверхность раздела достигает сотен $\text{м}^2/\text{г}$, то есть исключить роль сорбционных процессов нельзя. В процессе роста газовых пузырьков и их всплытия, они уносят на своей границе молекулы солей, таким образом, транспортируя их на внешнюю макроскопическую поверхность раздела «жидкость-газ». Здесь пузырьки разрушаются, а принесенные примеси в избыточной, по сравнению с раствором, концентрации находятся вблизи поверхности. В силу большого градиента концентрации и внутрижидкостных потоков эта область повышенной концентрации примесей, быстро рассасывается. В работе [2] описывались эксперименты по выведению соли и мы не будем этому здесь уделять внимание.

Для выяснения возможности существования и, соответственно, влияния постоянного звукового поля проводилось включение постоянного УЗ-сигнала с мощностью около 1-2 W, с частотой 22 kHz. На рис. 6 представлена зависимость прозрачности воды без и с дополнительным УЗ-излучателем во времени. Видно, что такое включение несколько продлевает время непрозрачности, хотя непрозрачность является, по-прежнему, ограниченной во времени.

Выводы. Результаты настоящей работы с учетом ранее полученных результатов и выполненных в настоящее время экспериментов подтверждена эффективность использования разработанной пневмоимпульсной технологии для удаления из водно-солевых растворов растворенных газов. С помощью системы контроля проходящего и отражающего через жидкость лазерного излучения с длинами волн $\lambda = 470$ nm. и $\lambda = 602$ nm, было исследовано поведение водно-солевых растворов под воздействием импульсного акустического излучения. Показано, что при импульсном акустическом воздействии жидкость меняет свою прозрачность, что позволило нам судить о содержании в жидкости растворенных газов.

Список литературы: 1. Юферов В.Б., Холод Ю.В., Муфель Е.В., Шулаев В.М. Дегазация закалочн-охлаждающих водоподобных сред звуковыми импульсами // ОТГОМ-2, Сборник докладов. Сентябрь 10–14. – 2001. – Часть 1. – С. 126-129. 2. Юферов В.Б., Холод Ю.В., Рыбалко А.Н., Муфель Е.В., Малец В.Ф., Озеров А.Н., Слюсарь В.П. О возможности вывода солей из растворов под воздействием акустических волн // ВАНТ Сер.: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (82). – 2002. – № 6. – С. 149-151. 3. Юферов В.Б., Пономарев А.Н., Муфель Е.В., Озеров А.Н., Буравиков И.В., Ищенко В.Н. О динамике очистки жидкости акустическими импульсами. // ВАНТ. – 2007. – № 4. – С. 171-172. 4. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д.Розенберга. – М.: Наука, 1968. – С. 167-220. 5. Емец Б.Г. О влиянии электромагнитных волн оптического диапазона на жидкости // Вісник Харківського національного університету. – № 513. – Радіофізика та електроніка. – 2001. – Вип. 1. – С. 74-80. 6. Емец Б.Г. Ефекти взаємодії низькоінтенсивних електромагнітних хвиль з нанорозмірними газовими включеннями в рідких середовищах. Автореферат докторської дисертації. – Харків. 2004. 7. Казанцев В.Ф. Движение газовых пузырьков в жидкости под действием сил Бьеркнеса, возникающих в акустическом поле // ДАН СССР. – 1959. – Т. 129. № 1. – С. 64-67.

Поступила в редколлегию 06.04.2011